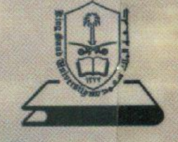
الجيوفيزياء الحقلية
Field Geophysics

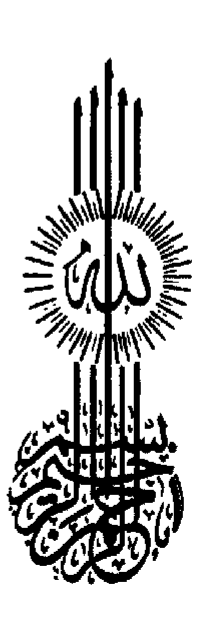
سلسلة الإرشاد الحقلي الجيولوجي
The Geological Field Guide Series

تأليف
جون ميلسوم
John Milsom

ترجمة
الدكتور ناصر بن سعد العريفي



جامعة الملك سعود
النشر العلمي و المطابع



الجيوفيزياء الحقلية

Field Geophysics

سلسلة الإرشاد الحقلي الجيولوجي

The Geological Field Guide Series

تأليف

جون ميلسوم

John Milsom

ترجمة

الدكتور/ ناصر بن سعد العريفي

أستاذ الجيوفيزياء، قسم الجيولوجيا

كلية العلوم – جامعة الملك سعود



النشر العلمي والمطابع - جامعة الملك سعود

ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ - المملكة العربية السعودية

هذه ترجمة عربية مصرح بها من مركز الترجمة بالجامعة لكتاب:

Field Geophysics: The Geological Field Guide Series
By: John Milsom
©John Wiley & Sons, 2003.

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

ميلسوم، جون.

الجيوفيزياء الحقلية: سلسلة الإرشاد الحقلي الجيولوجي./ جون ميلسوم؛ ناصر بن سعد العريفي - الرياض، ١٤٣٠هـ.

٤٠٩ ص؛ ١٧سم × ٢٤ سم

ردمك: ٠ - ٥٦٩ - ٥٥ - ٩٩٦٠ - ٩٧٨

١- الجيوفيزياء أ. العريفي، ناصر بن سعد (مترجم) ب. العنوان

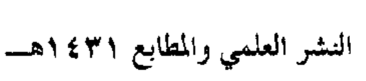
ديوي ٥٥١ ١٤٣٠/٧٦٧٤

رقم الإيداع: ١٤٣٠/٧٦٧٤

ردمك: ٠ - ٥٦٩ - ٥٥ - ٩٩٦٠ - ٩٧٨

حكمت هذا الكتاب لجنة متخصصة شكلها المجلس العلمي بالجامعة، وقد وافق المجلس على نشره - بعد اطلاعه على تقارير المحكمين - في اجتماعه الحادي والعشرين للعام الدراسي ١٤٢٩/١٤٣٠هـ المعقود بتاريخ ١٤٣٠/٧/١١هـ الموافق ٢٠٠٩/٧/٤م.





النشر العلمي والمطابع ١٤٣١هـ

مقدّمة المترجم

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على رسوله الأمين المبعوث رحمة للعالمين، الداعي إلى طلب العلم وإتباع الحق والهدى، وعلى آله وصحبه أجمعين أما بعد:

فإن الترجمة من أصعب المهام التي تقع على عاتق كل عضو هيئة تدريس، ولكنها في الوقت نفسه ميزة للقراءة المتأنية التي يحتاجها الباحث، وهي إثراء للمكتبة العربية بالمترجمات الأجنبية التي يحتاجها كل قارئ.

والترجمة على امتداد التاريخ كانت ركيزة من ركائز الحضارة، وأسساً من أسس النهضة وقيامها في أيّ مجتمع بشري، فمع النهضة يزداد النشاط الترجمي ويزدهر، فهي التي تمدّ جسور التواصل والاستفادة من علوم الآخرين ومعارفهم، وهي وسيلة لمعرفة الآخر، ونقل لما بين الحضارات والشعوب من فكر، وثقافة، وأسلوب، ولغة، وتقاليد، وأعراف.

ويبدو لي أن الترجمة العلمية من الانجليزية إلى العربية لا تتعدى أن تكون عملية تفسير لمعاني نصّ مكتوب باللغة الانجليزية بما يعدلها من اللغة العربية، ويجمع دارسو الترجمة و ممارسوها على أن من أعظم مشاكل الترجمة هي: عجز المترجم – أيّاً كان – في توصيل المعنى الدقيق لأيّة مفردة من النص الذي يريد نقله إلى لغة أخرى، ولعل ما يزيد الترجمة صعوبة أن يكون هذا العمل هو أول تجربة لي في مجال

الترجمة.

إن الغرض من هذا الكتابِ هو: المساعدة في عمليات المسح الجيوفيزيائية على النطاق الأكاديمي، وهو ليس كتاباً دراسياً تقليدياً كما قدّم المؤلف بل إنه كتاب أكاديمي يَهتمُّ بالأمور العملية أكثر من الأمور النظريةِ، مع الأخذ بعين الاعتبار بأنه لا يتعامل مع المسح الجوي، أو البحري، أو جيوفيزياء الآبار، ولا مع الانعكاسِ السيزمي العميقِ؛ نظراً لمساحته المحدودة، ولأن هذه المسوحات تحتاج إلى فريق كبير للقيام بها.

إن هذا الكتاب هو: أول كتاب عربي يهتم بأعمال الحقل (الميداني) بالشكل الذي يستفيد منه كل طالب وباحث على حد سواء، وهذه هي الطبعة الثالثة لهذا الكتاب الذي لقي رواجاً كبيراً بين أصناف المهتمين من المتخصصين في علوم الأرض.

لقد ترجم هذا الكتاب في ثلاثة عشر فصلاً كما في الكتاب الأصل تناولت فيه جميع الطرق الجيوفيزيائية الحقلية مثل: الجاذبية المغناطيسية، والكهرومغناطيسية، والمسح الإشعاعي، وطرق التيار الكهربائي، وطرق الجهد الذاتي، والاستقطاب الحثي، وطرق رادار الاختراق الأرضي، والطرق السيزمية الانعكاسية، والانكسارية، بالإضافة إلى العديد من الملاحق التي يحتاجها العمل الحقلي و ثبت للمصطلحات وكشاف للكلمات.

وفي الختام أرجو من الله العلي القدير أن يجعل هذا العمل خالصاً لوجهه الكريم، وأن ينفع به جميع العاملين في مجال العمل الحقلي الجيوفيزيائي، وأخص بالذكر طلابي حديثي التخرج، وأن يكون لهم عوناً بعد الله في بداية حياتهم العلمية، والعملية، كما أود أن أشكر مركز الترجمة بجامعة الملك سعود على الحث الجاد والمتواصل على إنهاء هذا العمل ومساعدته في الحصول على موافقة المؤلف وكذلك دعمه المادي.

المترجم

مقدمة الطبعةِ الأولى

إنّ غـرضَ هـذا الكتـابِ أَنْ يُـساعدَ أي واحـد يريـد الاشـتراكَ في عمليـات المـسح الجيوفيزيائيـةِ علـى النطـاق الـضيقِ. هـو لَـيس كتـاب دراسـي تقليـدي، إذ إنّـه مُـصَمَّمٌ للاستعمالِ في الحقلِ ويَهتمُّ بـالأمورِ العمليـةِ وبـالأمور النظريـةِ في المرتبـة الثانيـة. حيـث تُقرّرُ النظريةَ نوعية التطبيق الممارس في الحقلِ، هذا منصوصٌ عليه حيث لا تطويرَ أو تبْرِيْرَ. على سبيل المثال، لا نحاول أن نوضح لماذا أربعة إلكترودات في الممانعـة الكهربيـة بدلا من الكترودين.

لا يَتعاملُ هذا الكتـاب مـع المسح الجـوي أو البحـري أو جيوفيزيـاء الآبـار، ولا أيضا مع الانعكاسِ السيزمي العميقِ؛ نظـرا للمسـاحة المتاحة لنـا في هـذا الكتـاب هـذا جـزء و الأمـر الثـاني نظـرا لأن المسوحات في الحقيقـة تحتـاج إلى فريـق كبير للقيـام بهـا. والذي على الأقل يمكن الاستفادة منهم في نشر الخبرة و المعرفة بشكل أوسع.

حيث من الملائم، إعطاء بعض الانتباهِ لمزيد من الحـديث. حيث يحتـاج الملاحـظ (المراقب) الحقلي لمعرفة ماذا يعمل وأيضا يختار الكلمة المناسـبة للاسـتخدام. وحقـاً، في هذا السياقِ تعْني الكلماتَ التي سَتفْهمُ مِن قِبل الآخـرين في نفـس خَـطِّ العمـلِ، إنْ لمْ تكن بواسطة القواميسِ القياسيةِ الجامعية.

كلمة اعتذارِ ضروريةُ. سندعو مراقبَ الحقلَ أحياناً بالضمير هو. هذا واقعيُ لسوء الحظ، بينما الضمير 'هي' نادرا جداً، لكن هذا لا يدل على أنّها مجهولة أو غير مرغوب فيها في عالمِ الجيوفيزياء. من المؤمّل أنّ كُلّ عُمّال الحقلِ الجيوفيزيائيينِ، سواء الذكور منهم أو الإناث وسواء كانوا جيوفيزيائيين أو جيولوجيين أو أيدي حقلِ غيرِ مُتَخَصّصةٍ، سَيَجِدون في هذا الكتابِ شيئاً مفيداً.

أخيراً، كلمة شكر لكل من بول هيسرون من شركة النفط والمعادن البريطانية وتيم لونقديل سميث من شركة Terronics لقراءتهم المُسوّدات المبكّرة مِنْ النَصِّ واقتراحاتهم الثمينةَ والعديدةَ. إليهم وإلى جانيت بيكر، التي رسمت العديد مِنْ الرسومات، وإلى الشركاتِ التي زوّدتني بالمعلومات والرسومات أقدم جزيل شكري وامتناني.

مقدّمة الطبعةِ الثانية

منذ الطبعةِ الأولى لهذا الكتابِ الذي نُشِرَ في عام ١٩٨٩م. كانت هناك بعض التغييرات التي طرأت على عالمِ عِلْم جيوفيزياء الحقل، ناهيك في ظهورِه المتكرّرِ في التغطية التلفزيونيةِ لحفريات الآثار، وفي عمليات المسح الخاصة بالأراضي الملوثةِ ومواقع دفن النفاياتِ (بيوت الكنزِ الآثاريةِ للمستقبلِ)، وكذلك الأعداد الكبيرة جداً من القراءاتِ المأْخُوذة لمسافات بينية صغيرةٍ جداً وكِتابَة النَتائِجِ التي يُمْكِنُ أنْ تمتصّ جزء رئيسي وكامل من الوقتِ في الحقلِ.

أصبحت مسجلات البيانات الآلية أكثر أهمية من قبل وأصبحت سهّله حيث أصبحت الحواسيب الشخصية صغيرة وأكثر قوةَ. طُوّرتْ التقنيات الحقليةِ الجديدةِ وأصبحت عملية معالجة الصور عملية روتينية وذلك لمعالجة كمية كبيرة من المعلومات.

التعليقات التي لوحظت على الطبعةِ الأولى والتي كانت حول عمليات مسح المنطقة بالإضافة إلى البياناتِ الجيوفيزيائيةِ لَها نظيرُ، وربما لدرجة أكبر، قوة في هذه الحالاتِ، لَكنَّه من الواضح عادة لَيسَ عمليَ أو ملائمَ أنْ يَكْتبَ مُلاحظاتَ فرديةَ تَتعلّقُ بقراءاتِ فرديةِ.

الزيادة في عددِ المسوحات الجيوفيزيائيةِ التي وجهت نحو الاستكشاف التحت سطحي الضحلِ جداً (١ إلى ٥ متر) أدّى إلى الاستعمالِ المتزايدِ أيضاً الطرق غيرِ ذات الاتِّصال (كهرومغناطيسية) طريقة لرسم خريطة التوصيليةِ.

علاوة على ذلك، القوَّة المتزايدة للحاسبات الآلية لدى كل جيوفيزيائي والتي ساعدت فيَ تسهيل طرقَ العكسِ أو القلب والتي أدت إلى تفسيرِ دراسات المقاومة النوعيةِ الحاليةِ المباشرةِ التقليديةِ. وتطلّبتْ تعديلاتَ مطابقةَ في العمليات الحقلية.

من المؤمّل أنّ هذه التغييراتِ تَغطّي بشكل كافٍ في هذه الطبعةِ الجديدةِ. أبعد من ذلك التطور الذيَ توفرَ بشكل واسعَ لأكثرَ الأنظمةِ الراداريةِ الاختراقية الأرضيةِ مما أدى أخيرا وبشكل سريع جداً في تقليل كلفتِهم. أي أُضيفَ فصل لتَغْطية هذه الطريقةِ الجديدة نسبياً.

الكثير بَقي بدون تغيير، حيث التقدم في التقنياتِ المحمولة جواً والتي حدث في الحقيقة من تَحسين أجهزة المسح الأرضي لاستكشافِ المعادن. أجهزة قياس الجاذبيةِ الأرضية تم جعلها أتوماتيكية وذاتية الضبط وتم نشرها بشكل واسعٍ.

أجهزة قياس المغناطيسية الأرضية أصبحت أكثر حساسية من أجهزة المغناطيسية من بروتون أو الفلاكسقيت وتم الإعلان عنها بشكل واسع. ولكن في أكثر الظروفِ تُزوّدنا هذه الأجهزةُ بدقّةَ أكثرَ مِما يُمْكِنُ أَنْ تُستَعملَ بسهولة. ماعدا في قياسِ ميولِ الحقلِ.

طرق التردد المنخفض جدا تَتمتّعُ بشيء من النوعية في الاستكشافِ لخزان الطبقات المشققة في صخورِ القاعدة، وأهمية و سهولةِ الاستعمالِ لها تم التركيز عليها مِن قِبل المنتجين. استمرت آلات الاستقطابِ المستحثِّ وأجهزة المسح الألكترومغناطيسية ذات الدومين الزمني في التطوير.

لكن مبدؤها النظري يبقى دون تغيير. الاستعمالِ الأكثرِ بدى لأجهزة الموجاتِ الزلزاليةِ المنعكسةِ، جزئياً بسبب قوَّةِ المعالجة الغيرِ متوقعة والمتوفرة لها والتي تتواجد الآن في أجهزة المسح السيزمي المحمول. لكن الانكسارية لازالت مهيمنة على الدِراساتِ الزلزاليةِ التحت سطحية.

حتماً، لَيسَت كُلّ الطرق قيد الاستعمال حالياً، لكنها غطّيت قدر الإمكان وحسب المساحة المتاحة. طرقِ الزلزالية الكهربية والتي فيها النبضات المصدرية ميكانيكية ونبضات الإشارةَ كهربائيَة والذين أثبتا تواجدهما والاحتياج الكبير لهما والتي أتوقع وضع حيز لهما في المستقبل ضمن هذا الكتاب. بعض الحالات التاريخية البسيطة تم نشرها.

طرق المغناطيسية (Magnetotelluric) لَها تأريخ أطول بكثير ومازالت في طور التطويرَ، وذلك بالارتباط مع بعض التَطوّرات في استعمالِ المحكومة من نوع (سي إس أي إم تي) بدلاً مِنْ مصادرِ طبيعيةِ، لكن العديد مِنْ الأغراض العامّة للجيوفيزيائيينِ سَتستَمرُّ بالكامل أثناء أعمالهم الحقلية دوَنْ ان تُشتَركَ في مثل هذا المسح.

على الرغم مِنْ إعادة الكتابة الكبيرةِ، والزيادة الطفيفة في الحجم (والتي أقدرها جداً للناشرين الجدّدِ) إلا أن هدف الكتابِ يَبْقى دون تغيير. مثله مثل سالفِة لَيسَ كتاب دراسي تقليدي، هادفا لتَزويد المعلوماتِ والمساعدةِ العمليةِ لأيد مشَغل في المسوحات الصغيرة على اليابسة.

ولمُسَاعَدَتي نحو هذا الهدفِ أنا ممتنُ خصوصاً لبول هيستون من شركة آر تي زد و لتَقديمي إلى الاستكشافِ المعدني في منطقة جديدة ومثيرة، والشكر موصول لأصقير إريكسين مِنْ شركة الخدماتِ الجيوفيزيائيةِ الدوليةِ (بالمملكة المتحدة) لإبْقائي على اتصال بحقائقِ عِلْم الجيوفيزياء الخاص بالمياه الجوفيّةَ والهندسة، والشكر موصول أيضاً إلى طلابِي لتَذكيري كُلّ سَنَة أين أسوأ المشاكلِ في الكتاب.

أنا ممتنُ أيضاً إلى كُلّ أولئك الذين ساعدوني في هذا العمل (وأخص بالذكر ابنتَي كايتي، التي أعطت وجهة نظرها مِنْ جيوفيزياء الحقل كما في الشكل رقم٥,١)، وأخص بالذكر جداً إلى زوجتِي، بام. التي أعادت طباعة النص الأصليَ ولتَحَمُّلها إعادة ترتيبه مرة ثانية من البداية.

جون ميلسوم

مقدّمة الطبعةِ الثالثة

منذ عقدٍ ونصْف على تحضيرِ الطبعةِ الأولى لهذا الكتيبِ كانت هناك بِضْعَة تغييراتٍ أساسيةٍ في الطرقِ التي استعملتْ في المسوحات الجيوفيزيائيةِ الأرضيةِ على نطاق ضيقَ. هناك عدة تغيرات ، على أية حال ، راديكالية في الأجهزة وتَطَوّرات بعيدة المدى في التطبيقاتِ.

حيث تدنى استعمال الجيوفيزياء في الاستكشافِ المعدنيِ ، كلا هذين الشرطين المُطلقينِ (سويّة مع الهبوطِ العالمي في صناعةِ التعدين نفسه) ، ونسبة إلى الاستعمالاتِ الأخرى. والتي أطلق عليها جيوفيزياء البيئية والجيوفيزياء الهندسة أو الجيوفيزياء الصناعية وفقاً لُمعظم فترةِ الهدوء.

من المحزن ، يفترضُ البحث للمدفعيةِ الغير منفجرةِ (يو إكس أو) حيث الأهميةَ المستمرة والمتّزايدَة أيضاً أكثر فأكثر حيث معظم أجزاء العالم أصبحُت مَليه ببقايا التدريب العسكريِ والعملياتِ العسكريةِ (البحث القاتل حيث كثرة الألغام الأرضية التي على خلاف يو إكس أو ، التي صمّمُت بتعمد لتَفادي الكشف عنها ، أيضاً تم تفادي هذه الطرق الجيوفيزيائية في هذا الكتاب. الاستعمال الآثاري يَزِيدُ أيضاً ، بالرغم من أن مازالَ حسّاسَ في العديد مِنْ الحالاتِ نظرا للكلفةِ العاليةِ نسبياً الخاصة بالأجهزةِ.

أصبحت الأجهزة أوتوماتيكية في اخذ القراءات وتخزينها والتي ازدادت أهميتها في أواخر الثمانينيات، حقيقة أنَّ كُلَّ الآلات الجديدة تأتي إلى السوقِ بمسجّلاتَ مدمجة والكثيرَ يشمل ضبط ألي لتسهيل وتسريع عملية جمع البيانات في الحقل. والتي صار لزاماً أن يكون هنالك كمبيوتر محمول لجمع البيانات بواسطته.

من ناحية، خفضت الحاجة للمهاراتِ الاختصاصيةِ من موظفي الحقلَ الذين يُشغّلونَ الآلاتَ في الحقيقة، وهذا يُؤدّي إلى هبوط عامّ في نوعيةِ المُلاحظاتِ المَحْمُولةِ. من الناحية الأخرى، أصبح الآن يمكن تحليل البيانات في الحقلِ عن طريق وعرضَها البياناتَ ومعالجتها، وتفسيرها. هذا التغييرَ أصبح واضحا في وحداتِ الرادارِ الأرضيةِ الاختراقية. أصبح مثير للانتباه، الاتجاه نحو الآلاتِ التي تُزوّدُ تغطيةَ مستمرةَ عملياً كلماً سْحبناها أو عند حْملناهاً على طول الخطوطِ أثناء المسح الأرضي.

أدت الزيادة في عددِ المسوحات الجيوفيزيائيةِ التحت سطحية (١-٣ متر) إلى الاستعمالِ المتزايدِ للطرقِ الكهرومغناطيسيةِ لرسم خرائط التوصيليةِ والتطويرِ الخاص بالطرق الغير متصلة الكهربائيةَ التي تَستعملُ capacitative بدلاً مِنْ الازدواج الحثّي. أضيف فصلِ جديد لتغطيتها مؤخرا. الطرق الحديثة جداً. جزء آخر تم إضافته يهتم بأجهزة الملاحة الفضائية . والتي أَصْبَحتْ جداً مفيدةَ أكثرَ بالنسبة للجيوفيزيائيين. وذلك بالارتباط مع بعض التَطَوّرات في استعمالِ المحكومة من نوع (سي إس أي إم تي) بدلاً مِنْ مصادرِ طبيعيةِ، لكن العديد مِنْ الأغراض العامّة للجيوفيزيائيينِ سَتستَمرُّ بالكامل أثناء أعمالهم الحقلية دوَنْ أن تُشترَكَ في مثلِ هذا المسح.

هناك أيضاً تَغيّرات بسيطة ضمن المُلاحظاتِ والمراجع لهذا الكتاب. مزودين المراجع الخاصة بكل مقالة بشكل عام تم استخدامها في هذا الكتاب وليس بشكل تفصيلي نظرا لحجم الكتاب، ولهذا اضطررت إلى تخفيض عدد المراجع المستخدمة حاصراً نفسي على المراجع القديمة التي تتحدث عن المناقشات الأساسية. وإلى المقالات التي تحوي الرسوم الإيضاحية اللازمة.

وقلصت الجزء الخاص بالمسح الأدبي الخاص بالمصنعين. ليس لأن لقلة أهميتها أو للحيز الذي تحتاجه لكن لأنها الآن موجودة عبر الانترنت. وستجدون كثير من العناوين ضمن المراجع.

على الرغم مِنْ إعادة الكتابة الكبيرةِ لهذا الكتاب، وازدياد حجمهُ (والذي فيه أنا ممتن جداً ثانيةً إلى الناشرين)، هدف الكتابِ يَبْقى بدون تغييرَ. مثل أسلافِه، هو لَيسَ كتاب دراسي في تقليدي، لكن يُهدّفُ لتَزويد المعلوماتِ والمساعدةِ العمليةِ لأي مشَغل في المسوحات القليلة على اليابسة و بنطاق ضيقِ في مُسَاعَدَتي نحو إنْجاز هذا الهدفِ.

أنا ممتنُ خصوصاً إلى كرس ليش مِنْ Geomatrix لتَضْمينه لي في بعض المسوحات والتدريبات الميدانية، والشكر موصول إلى أسقير إريكسين مِنْ شركة الخدماتِ الجيوفيزيائيةِ الدوليةِ (بالمملكة المتحدة) لإبْقائي على اتصال بحقائقِ الجيوفيزياء للمياه الجوفيّةَ والهندسة، وإلى طلابي للنقدِ الحادِّ وغير الحسّاسِ مِنْ الطبعاتِ السابقةِ.

أنا ممتنُ أيضاً إلى كُلّ أولئك الذين ساعدوني في الرسومات الإيضاحية الّتي أعيدت ضمنُ الإنتاج الحالي لهذه الطبعة (وأخص بالذكر ابنتَي كايتي، التي أعطت وجهة نظرها مِنْ جيوفيزياء الحقل كما في الشكل رقم١,٥)، وخصوصاً إلى زوجتِي، بام، لمراجعتها الشاملة لهذا الكتابِ ولتَحَمُّلها هذا العبء للمرّة الثالثة.

جون ميلسوم

المحتويات

الصفحة

الفصل الأول: مقدّمة

ص

الفصل الثاني: طريقة الجاذبية

الفصل الثالث: الطرق المغناطيسية

الفصل الرابع: المسح الإشعاعي

الفصل الخامس: طرق التيار الكهربي: (اعتبارات عامة)

الفصل السادس: طرق المقاومة الكهربية

الفصل السابع: طرق الجهد الذاتي والاستقطاب الحثي

الفصل الثامن: الطرق الكهرومغناطيسية

الفصل التاسع: طرق التردد شديد الانخفاض والطرق الكهرومغناطيسية الأخرى

الفصل العاشر: طريقة رادار الاختراق الأرضي

الفصل الحادي عشر: الطرق السيزمية – اعتبارات عامة

الفصل الثاني عشر: الطريقة السيزمية الانعكاسية

الفصل الثالث عشر: الطريقة السيزمية الانكسارية

قائمة الجداول

الصفحة

قائمة الأشكال

الصفحة

الفصل الأول

مقدمة
INTRODUCTION

(١,١) الأعمال الحقلية
Fields

على الرغم من أن هناك طرقاً جيوفيزيائية كثيرة ومختلفة إلا أن الأعمال المساحية الحقلية وخاصة التفصيلية منها متشابهة من حيث المبادئ العامة والمصطلحات المستخدمة ، وقد تكون لهذه المصطلحات أكثر من معنى ومدلول فمثلاً مصطلح "قاعدة" (Base) له ثلاثة معان بينما مصطلح "متراكم" (Stacked)، ومصطلح "حقل" (Field) فلكل منها مدلولين على الأقل.

تجرى معظم القياسات الأعمال المساحية الجيوفيزيائية في الحقل وهذا العديد من المحاذير والاحتياطات. فهذه القياسات الحقلية أساسية في الأعمال المساحية لقياس الجاذبية الأرضية (Gravity) والمغناطيسية الأرضية (Magnetic) والكهرومغناطيسية (Electromagnetic).

كما يمكن وصف مصطلحات "الدفقات الجسيمية" (Particle Fluxes) وكذلك "جبهات الموجة السيزمية" (Seismic wave fronts) تحت مصطلح واحد هو مصطلح "مجالات الإشعاع" (Radiation fields).

وفي هذا الصدد فقد يكون الالتباس في المدلول لمصطلح ما غير ذي أهمية وفي أحياناً أخرى قد يكون مقصوراً فهم المصطلح على معنيين ومدلولين، وفي أحياناً أخرى يكون من الضروري التمييز الواضح بين مقاصد مدلولات و معاني المصطلح الواحد. ويستخدم بصفة خاصة مصطلح "قراءة حقلية" (Field reading) في أغلب الأحيان للتمييز بين القراءات التي أخذت في التجوال الحقلي عن تلك التي أخذت في المحطة الأساسية الثابتة (base station).

وقد تكون الأعمال المساحية الجيوفيزيائية لمجالات طبيعية مثل: مجالات المغناطيسية الأرضية أو الجاذبية الأرضية أو تكون لمجالات اصطناعية مثل توليد مجالات كهرومغناطيسية من استخدام تيار متردد (Alternating current).

وعلى أي حال يمكن تقسيم الطرق الجيوفيزيائية بشكل عام إلى طرق جيوفيزيائية "متأثرة" (Passive)، وطرق جيوفيزيائية "مؤثرة" (Active) لكل من المجالات الطبيعية والمجالات الاصطناعية على التوالي.

شدة المجال يمكن تحديدها باستخدام خطوط متقاربة للمجالات القوية وتمثل المجالات الفيزيائية عادة بخطوط للقوى تدل على اتجاه المجال وشدته عند أي نقطة فيه. ويدل رأس السهم على الاتجاه بينما تدل درجة اقتراب الخطوط والتصاقها من بعضها البعض على شدة المجال.

وهذا لا يدل بطبيعة الحال عن تقدير هذه الشدة تقديراً كمياً (Quantitatively) ولكن يدل فقط على تقدير كيفي لأنه تمثيل ثنائي الأبعاد وليس ثلاثي الأبعاد كما هو في الطبيعة والواقع.

(١,١,١) المتجه الإضافي Vector Addition

عندما تتكون مجالات مركبة (Combing fields) ناشئة عن مصادر مختلفة يكون من الضروري استخدام المتجه الإضافي (vector addition) كما هو واضح في الشكل رقم (١,١) ولابد أن يكون هناك معرفة بمبادئ المتجه الإضافي خاصة عند التعامل مع

الطرق الجيوفيزيائية المتأثرة (Passive methods) حيث تساعد هذه المبادئ على فهم وتتبع الوسائل التي تأثرت بها قياسات الشذات المحلية (local anomalies) بمنطقة الدراسة نسبة إلى الوضع الإقليمي العام الذي يمثل الخلفية (الطبيعية) الإقليمية (Regional background) لهذه المنطقة.

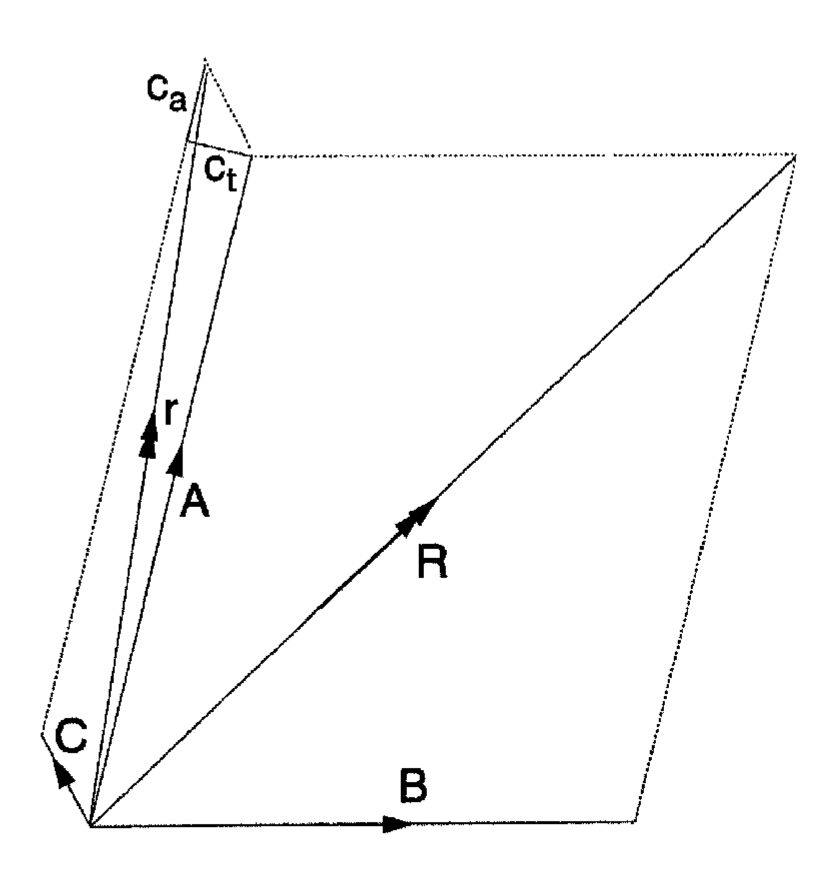
أما في الطرق الجيوفيزيائية المؤثرة (Active methods) فإن "الشذات المحلية" تعلو متطفلة فوق مجال أولي (Primary field) متولد من جهاز إرسال (Transmitter)، وتسمى الشذات المحلية في هذه الحالة بالمجال الثانوي (Secondary field).

وفي كلا الحالتين إذا كان المجال المحلى هو الأكثر ضعفاً (أي أقل من عشر قوة المجال الإقليمي للخلفية الطبيعية للمنطقة؛ (Background field) فأن القياسات الحقلية ستجرى في اتجاه المجال الأقوى، وستقاس فقط مركبة القوى في هذا الاتجاه الخاص بالمجال الثانوي والذي يسمى (Ca) في الشكل رقم (١,١). وفي معظم الأعمال المساحية يمكن إهمال الاختلاف الضئيل في الاتجاه بين المحصلة (Resultant) والخلفية (Background) أو المجال الابتدائي (Primary Field).

إذا تشابه مجالان في القوة فستنعدم العلاقة البسيطة بين شدة المجال الشاذ (anomalous field) وقوة الشذوذ المشاهد (observed anomaly). ومع هذا فإنه يمكن تقدير التغيرات في أي مركبة معطاة للمجال الثانوي وذلك بأخذ جميع القياسات في اتجاه مناسب، واعتبار أن مركبة الخلفية (Background component) أو المجال الابتدائي في هذا الاتجاه مركبة ثابتة في منطقة الدراسة. ولهذا السبب فإنه أحياناً ما يفضل قياس مجال رأسي فضلاً عن المجال الكلي في الأعمال المساحية المغناطيسية والكهرومغناطيسية.

ليس من الضروري أن تتساوى المجالات الناشئة من مصادر متعددة مع مجموع متجهات المجالات التي كان يمكن أن تنشأ من تلك المصادر منفصلة. ويمكن أن يؤثر مجال مغناطيسي قوي ناشئ من جسم ما في مغناطيسية جسم آخر، أو حتى يؤثر

ذلـك المجـال القـوى فـي نفـسه ويـؤدي إلـى مـا يـسمى تـأثير "افتقـاد المغنطـة" (Demagnetization effect)، وقد تكون التداخلات بين المجالات والتيارات معقدة أثناء إجراء الأعمال المساحية الكهربية والكهرومغناطيسية.



الشكل رقم (١,١). يوضح المتجه الإضافي بتطبيق قاعدة متوازي الأضلاع. المجال الممثل بالمقدار والاتجاه يمكن تمثيلهما بالمتجه (A) والمتجه (B) ليعطيا قطر متوازي الأضلاع الـذي يكـافئ المحصلة (R). وتساوي تقريباً المحصلة (r) للمتجه (A) والمتجه (C) في الطول مجمـوع كل من المتجه (A) ومركبة المتجه (C) والتي يرمز لها بالرمز (Ca) في اتجاه (A). وتدير المركبة العرضية (Ct) المحصلة إلا أنها لا تؤثر كثيراً على مقدارها.

(١,١,٢) قانون التربيع العكسي The Inverse -Square Law

يطبق قانون التربيع العكسي الخاص بتوهين أو إضعاف قوة الإشارة (Inverse-square law attenuation of signal strength) في معظم فروع الجيوفيزياء التطبيقية. ويطبق بأبسط صورة في مسح الجاذبية الأرضية ، حيث تتناسب شدة المجال الناشئ من موضع الكتلة (point mass) عكسياً مع مربع المسافة المقاسة من تلك الكتلة ، ولا يتغير ثابت التناسب (ثابت الجاذبيه G).

ويطبق قانون التربيع العكسي أيضاً على المجال المغناطيسي. والحقيقة القائلة أن شدة المجال المغناطيسي تتغير بتغير طبيعة (نفاذية) الوسط ليس لها تطبيق في واقع معظم الأعمال المساحية الجيوفيزيائية حيث تجرى القياسات الحقلية إما في الهواء أو في الماء ، ومع ذلك تظل مصادر المغناطيسية في الأساس ثنائية القطبية (Bipolar).

وتعديلات قانون التربيع العكسي البسيط التي ترجع إلى هذه الحقيقة لها أهمية كبيرة جداً (فقرة ١,١,٥). يعطى مرور التيار الكهربي من طرف قطب معزول مدفون في تربة كاملة التجانس توضيحاً مادياً لمغزى قانون التربيع العكسي. وبالتأكيد يخترق التيار الكهربي المتولد من قطب كهربي الأسطح القريبة منه والمحيطة به.

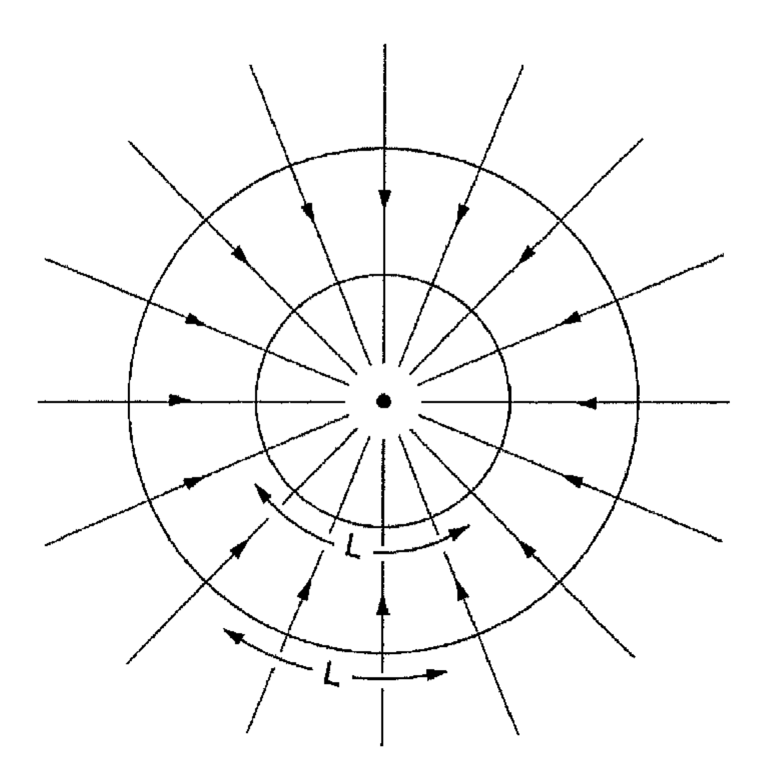
وإذا كانت هذه الأسطح على هيئة كرة يقع القطب الكهربي في مركزها فإن التيار الكهربي يخترق كل وحدة مساحة على سطح هذه الكرة بنفس درجة الشدة لجزء من التيار الكلي. وعلى ذلك سيتناسب شدة التيار لكل وحدة مساحة عكسياً مع المساحة الكلية للكرة ، والذي بدوره يتناسب مع مربع نصف قطر هذه الكرة. وبطبيعة الحال ستتغير شدة مرور التيار في الكرة الأرضية تبعاً لتباين قدرة توصيل مواد الأرض المختلفة للتيار الكهربي.

(١,١,٣) المصادر ثنائية الأبعاد Two - Dimensional Sources

كما يعتمد معدل الانخفاض في شدة المجال على قانون التربيع العكسي فإنه أيضاً يعتمد على شكل المصدر وأبعاده. ويصطلح تسمية المصادر ذات الطول النهائي والمقطع

العرضي الثابت بالمصادر ثنائية الأبعاد. وغالباً ما تستخدم هذه المصادر في إعداد نماذج الكمبيوتر التي تساعد في تقريب حجم الأجسام ذات الامتدادات الشاسعة.

فإذا كان موضع المصدر (source point) في الشكل رقم (١,٢) يمثل الطرف المنظور لخط المصدر اللانهائي في الطول فإن المساحة التي تشمل السطح (الأسطواني) تتناسب مع نصف القطر.

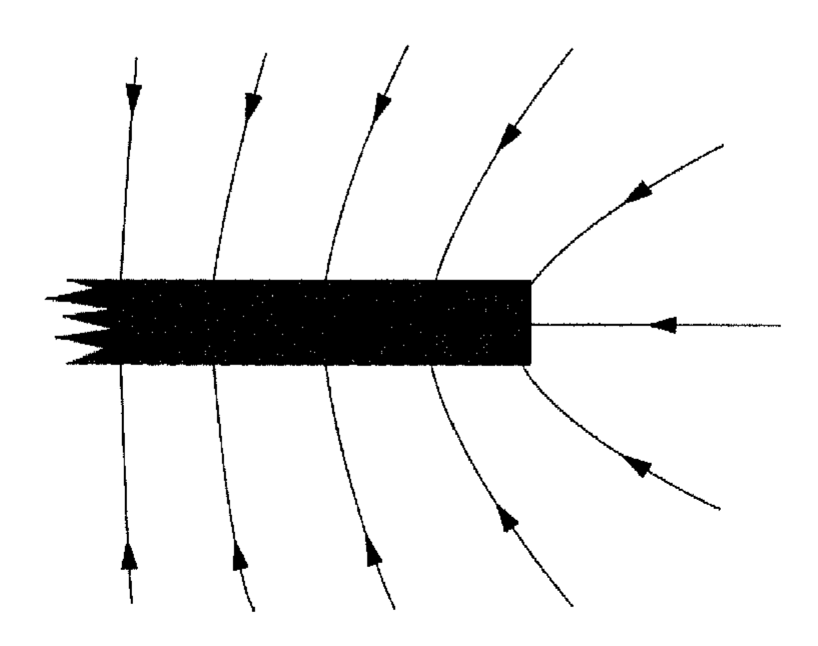


الشكل رقم (١,٢). يوضح خطوط القوى من الطرف المنظور لخط المصدر اللانهائي. تزيد المسافة بين الخطوط زيادة خطية مع زيادة المسافة من المصدر حتى أن طول القوس (L) على الدائرة الداخلية يقطع بأربعة خطوط ولكن القوس الذي له نفس المسافة على الدائرة الخارجية، والذي له نصف قطر مزدوج، يقطع بخطين فقط.

وتمثل المناقشة التي ذكرت في العنوان السابق حول موضع المصدر "شدة المجال" التي تتناسب عكسياً مع المسافة وليست مع مربع المسافة. وفي حالة المصادر ثنائية الأبعاد فإن خطوط القوى المرسومة على الورق توضح قوة المجال (Field magnitude) والذي يمثله درجة تقارب الخطوط من بعضها البعض وتوضح أيضاً اتجاه المجال.

(١,١,٤) المصادر أحادية الأبعاد One - Dimensional Sources

تتباعد فقط خطوط القوى أو خطوط شدة الإشعاع الصادرة من مصدر على هيئة طبقة متجانسة ذات سمك ثابت ، عند أحرف أو أطراف هذا المصدر (الشكل رقم ١,٣).

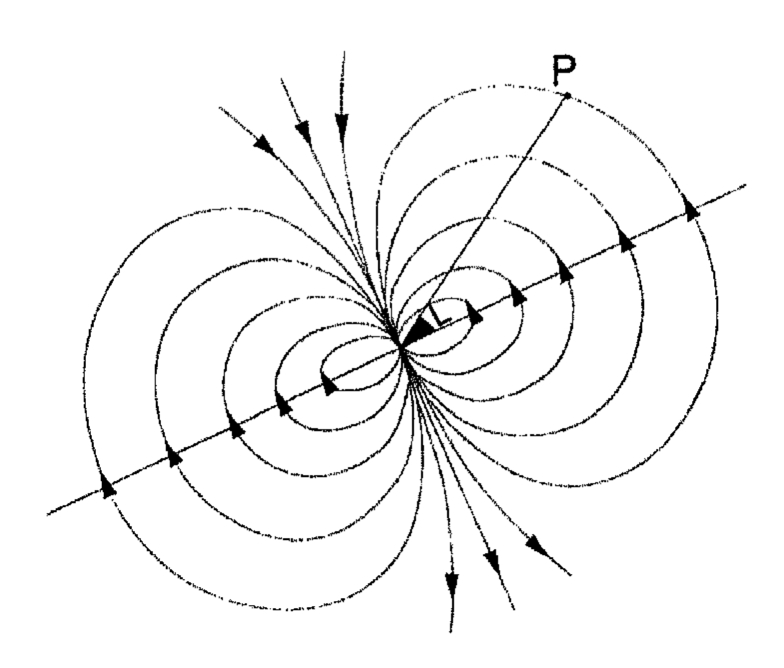


الشكل رقم (١,٣). يوضح خطوط القوى من شريحة شبه لانهائية. تتباعد الخطوط بصورة محسوسة فقط بالقرب من حافة الشريحة، مما يدل ضمناً على أن قوة المجال تنقص بصورة يمكن إهمالها؛ مع المسافة في اتجاه مركز الشريحة.

وكذلك المصدر المشع ذو هندسية 2π (2π geometry) (فقرة ٤,٣,٣) إلا أمثلة واضحة لمصادر الطبقة ذات الامتداد اللانهائي والتي لا تعتمد فيها قوى المجال على المسافة. وتتحقق هذه الحالة تقريباً عندما يوضع جهاز الكشاف (detector) فقط على مسافة قصيرة فوق مصدر ممتد وبعيد عن أطرافه.

(١,١,٥) الديبول (ثنائي القطب) Dipoles

يتكون ثنائي القطب من موضع مصدريين أحدهما موجب والآخر سالب ومتساويين في الشدة ويفصلهما مسافة صغيرة. وتتناقص قوة المجال مع مقلوب مكعب المسافة، وكذلك مع تغير كل من قوة المجال واتجاهه داخل منطقة التأثير (الشكل رقم ١,٤).



الشكل رقم (١,٤). يوضح خطوط القوى في مجال ثنائي القطب (الديبول). يعرف المستوى المار بالقطبين والعمودي على محوره بالمستوى الاستوائي، ويشار إلى الزاوية (L) المحصورة بين هذا المستوى والخط الواصل بين مركز الديبول وأي نقطة (P) أحياناً بأنها تمثل خط عرض أو نطاق النقطة (P).

تتساوى شدة المجال عند نقطة ما على محور ثنائي القطب مع ضعف شدة المجال عند نقطة ما على محيط ثنائي القطب وعلى نفس المسافة في الجهة المقابلة.

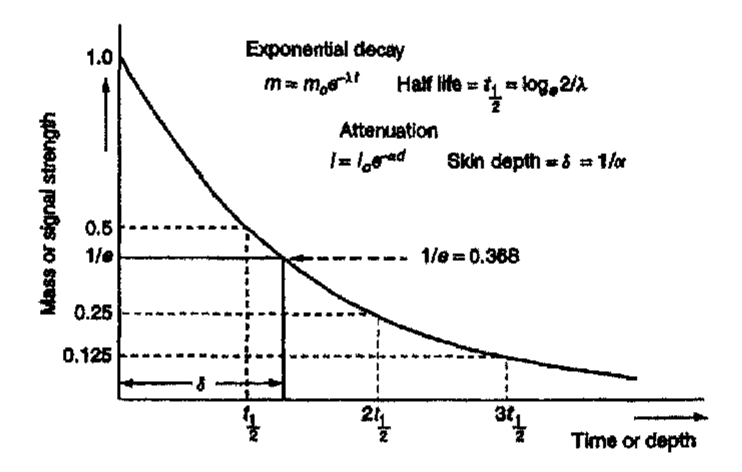
وتستخدم الأقطاب في بعض الأعمال المساحية الكهربية على هيئة تشبه زوج من ثنائي القطب، وما التمغنط (magnetization) في الأساس إلا ثنائي القطب. وينشأ التيار المار في دوائر داخل حلقات صغيرة مصادر لمجال مغناطيسي على هيئة ثنائي القطب.

(١,١,٦) الاضمحلال الدليلي Exponential Decay

يتعرض "دفق الجسيمات الإشعاعية " (radioactive particle fluxes) والموجات السيزمية والموجات الكهرومغناطيسية إلى الامتصاص (absorption) وإلى "الوهن الهندسي" (geometrical attenuation)، ونتيجة لذلك تصبح الطاقة العابرة (المخترقة) للأسطح القريبة من المصدر أقل من الطاقة المنبعثة من المصدر ذاته. وفي الأوساط المتجانسة يمكن تحديد نسبة فقدان الإشارة بمدلولية كل من طول المسار وثابت التوهن.

وتتناسب كمية الفقد المطلقة أيضاً مع قوة الإشارة (signal strength). ويتحكم "ثابت الاضمحلال" (decay constant) في قانون دليلي مشابه (similar exponential law) (الشكل رقم ١,٥) الذي بدوره يعين معدل "فقد الكتلة" (loss of mass) الناتج من الإشعاع الصادر من المواد المشعة.

يتميز معدل الوهن (Attenuation rate) تبادلياً بما يسمى "عمق القشرة" (Skin depth) وهو البديل "لثابت الوهن" (attenuation constants). وفي كل اجتياز لعمق القشرة تنقص قوة الإشارة بمعدل 1/e من القيمة الأصلية حيث (e = 2.718) هي لوجارثم طبيعي. وعادة ما يوصف "معدل الاضمحلال " الإشعاعي بما يسمى بفترة "نصف العمر" (half-lives) وهي تساوي ($\log_e 2$) الذي يساوي (0.693) مقسوماً على "ثابت الاضمحلال" (decay constant). أثناء كل دورة لفترة نصف العمر تفقد نصف المادة التي كانت موجودة عند بداية تلك الدورة.



الشكل رقم (١,٥). تطبيق قانون الاضمحلال "الدليلي" على عناصر النشاط الإشعاعي، حيث تظهر العناصر المميزة لاضمحلال النشاط الإشعاعي في مقابل اضمحلال ووهن الموجة الإشعاعية.

(١,٢) العمل الحقلي الجيوفيزيائي
Geophysical Field-Work

تختلف الأجهزة الجيوفزيائية اختلافاً بيناً في الحجم ودرجة التعقيد، ولكنها جميعاً تُستخدم للقياسات الفيزيائية إما في المعمل أو في الحقل تحت ظروف مختلفة. ويجب أن تكون تلك الأجهزة عملية وغير معقدة الاستخدام، ويمكن حملها بسهولة، ويجب أن تتحمل الظروف الحقلية المختلفة وتعطي نتائج لها مصداقياتها الخاصة. وهذه المعايير كافية لمختلف الأغراض البحثية ومُطبقة على الأجهزة الاقتصادية المتوافرة حالياً.

(١,٢,١) اختيار الأجهزة الجيوفيزيائية Choosing Geophysical Instruments

قليلاً من مصممي الأجهزة الذين قاموا بتجربة الأجهزة التي صمموها عملياً في الحقل لمدة طويلة ليستشعروا مدى ملائمة هذه الأجهزة للاستخدام الشخصي، حيث أنه من النادر النظر إلى راحة الشخص المشغل لهذه الأجهزة بعين الاعتبار.

وعلاوة على ذلك فعلى الرغم من إدخال العديد من التحسينات الحقيقية على الأجهزة خلال فترة الثلاثين عام الأخيرة إلا أن بعض العناصر التطويرية التي أدخلت خلال تلك الفترة بدون سبب مقنع قد أدت إلى بعض التعقيدات أثناء إجراء الأعمال الحقلية ؛ وجهاز قياس المغناطيسية من نوع "بروتون" (Proton magnetometer) الذي سيتم عرض خصائصه فيما بعد مثالاً لهذه الحالة.

إذا تساوت الأجهزة في الوظيفة الأساسية التي يمكن أن تؤديها على نفس المستوى من سرعة الإنجاز ونفس المستوى من الجودة فإن عناصر التفضيل بينها (عند شرائها) تخضع للاعتبارات العملية الآتية :

***مستوى تقديم الخدمة* (Serviceability)**

- هل كتيب تشغيل الجهاز واف ومفهوم؟
- هل يمكن إصلاح الجهاز بسهولة عندما يصيبه عطل ما في الحقل؟
- هل تتوافر تسهيلات لإصلاح معظم أعطال الجهاز في البلد المستخدم له أم أنه يلزم إرساله للخارج (للبلد المصنع)، بما يحمله ذلك من مخاطر النقل ومخاطر الطريق وتكلفة رسوم الجمارك؟

وعلى الرغم من أهمية التأكد من مصداقية نتائج الأجهزة إلا أنه يحدث أحياناً أن يقوم بعض العملاء بتقييم تلك المصداقية لنماذج أجهزة (تحت الاختبار) وذلك بتكليف من الشركات المصنعة لتلك الأجهزة.

مصادر القوى الكهربية (Power supplies)

- في حالة استخدام بطاريات جافة كمصدر للطاقة الكهربائية فهل هذا النوع من البطاريات متوافر في الأسواق أو يسهل استبداله بنوع آخر أو على العكس يستحيل الحصول عليه إلا في أماكن خاصة داخل المدن الكبرى فقط؟
- وإذا استخدمت بطاريات من النوع الذي يمكن إعادة شحنه فهل هي ثقيلة الوزن يصعب حملها بسهولة؟

• وفي جميع الأحوال، فما مدى تحمل هذه البطاريات لدرجات الحرارة المتوقعة أثناء الأعمال الحقلية (عالية أم متوسطة أم منخفضة)، مع العلم بأن الطقس البارد يقلل من العمر الافتراضي للبطارية. وللعلم أيضاً أنه إذا كانت إحدى وظائف هذه البطارية هو الحفاظ على ثبات درجات حرارة الجهاز المستخدم في الحقل فإن هذا العمر الافتراضي سيقصر بشدة.

طريقة إظهار البيانات (Data Displays)

• هل إظهار البيانات مقروء بوضوح في كل الظروف والأحوال؟ وقد يحتاج الأمر استخدام كشاف ضوئي صغير عندما يكون الضوء خافت، بينما يكون من الصعب قراءة تلك البيانات على شاشة الجهاز في ضوء الشمس الساطع.

• مع العلم أيضاً بأنه قد يستهلك جهاز إظهار البيانات الكبير (large display) طاقة كهربية كبيرة وبصورة سريعة وهذا يرجع إلى أن إظهار ومتابعة النتائج المستمر على شكل منحنى أو رسم يستمر إظهاره أثناء الأعمال الحقلية يستلزم استنفاذ هذه الطاقة الكبيرة.

النسخة الورقية (Hard copy)

• في حالة توافر إمكانية الحصول على نسخة ورقية من تسجيلات النتائج المستخرجة من الجهاز الحقلي، فهل هذه التسجيلات الورقية ذات جودة عالية؟ وهل لها ديمومة حقيقية؟ بحيث يمكن قراءتها حتى بعد تعرضها للبلل أو الاحتكاك أو أشعة الشمس المباشرة.

توافر الراحة لمشغل الجهاز (Comfort)

• هل تؤدي طول فترة استخدام الجهاز إلى إصابة مشغل الجهاز بالإرهاق الشديد؟

• تسبب بعض الأجهزة إرهاقاً شديدا لمشغل الجهاز في كل الأحوال، لأنها مصممة بحيث تكون معلقة في حزام كتفي (Strap) يمر خلف الرقبة. ويمكن لهذه

الأجهزة أن تسبب مشاكل طبية حقيقية للشخص الذي يستخدمها وخاصة إذا كان مطلوب من هذا الشخص الحفاظ على أتزان الجهاز وذلك بإسناده بثبات وبصورة مستمرة في الجهة المقابلة للحزام الكتفي.

• ويمكن أن يقلل وضع الحزام الكتفي على أحد الأكتاف وإمراره تحت الذراع الآخر الإجهاد العضلي، ولكن حمل الجهاز بهذه الطريقة ليس ممكناً مع جميع أنواع الأجهزة.

ملاءمة الجهاز للاستخدام (Convenience)

• إذا وضع الجهاز على الأرض فهل هذا الوضع ملائم للاستخدام؟ وعندئذ هل سيطول سلك "المجس" (Sensor) ليصل إلى الجهاز وهو في هذا الوضع القائم أثناء التشغيل العادي؟

• وإذا وضع "المجس" على حامل "ثلاثي الأرجل" (tripod) أو فوق عمود أو "سارية" (Pole)، فهل هذا الحامل أو السارية ستتحمل ثقله وهل يمكن تثبيته جيداً؟

• وبهذه المناسبة فهناك حالة تم فيها تطوير "سارية" جهاز قياس المغناطيسية من نوع "بروتون" قد ذكرت في الفقرة (١,٢,١) الخاص باختيار الأجهزة، حيث أدخلت تعديلات حديثة لم تؤد إلى تسهيل استخدامه، ويمكن توضيح هذه الحالة على النحو التالي:

كان لجهاز قياس المغناطيسية من نوع "بروتون" التقليدي "سارية" مخصصة لحمل المجس وكانت لهذه "السارية" نتوءات بارزة لها القدرة على الالتصاق بالأرض الرخوة (الزلقة) ويمكن دعمه بمسامير تثبيت. ومن غير سبب مقنع استبدلت هذه "السارية" بأخرى ليست لها نتوءات بارزة ويمكن السير بها بسهولة في الأراضي العادية.

ويمكن ثنيها وتخزينها بسهولة، إلا أنها رقيقة خفيفة هشة قد تتعرض وصلاتها للالتواء أو حتى الكسر ولذلك فهي تحتاج دائماً من الشخص المستخدم لها إسنادها بيده وأن يكون حذراً طوال الوقت حتى لا تنثني فجأة وتسبب مشاكل لجهاز "المجس"

المحمول عليها، وبذلك يؤدى هذا التطوير الحديث للسارية التقليدية إلى بعض الصعوبات التي تسبب إرهاقاً للشخص المشغل للجهاز بدون داع.

كفاءة الحماية الحقلية (Field worthiness)

• هل تم حماية "مقابض التحكم" (Control knobs) في الجهاز وكذلك وصلاته من تأثير الصدمات والحوادث الفجائية؟

• هل غطاء الجهاز الخارجي مضاد للمياه Waterproof بشكل جيد؟

• هل تعتمد طريقة حماية الجهاز من رطوبة الحشائش على طريقة معينة لتوضيع الجهاز أم أنه مزود بطرق حماية أخرى؟

• هل هناك ثغرات في خزانة الجهاز يمكن أن يتسرب من خلالها ماء الرطوبة إلى داخل الجهاز حيث يمكن أن تتجمع وتسبب مشاكل فنية كثيرة؟

التحكم الذاتي (Automation)

أصبح استخدام الكمبيوتر في تشغيل الأجهزة والتحكم فيها أمراً شائعاً الآن (وإن كانت الأجهزة التقليدية الأقل تعقيداً والغير مزودة بجهاز كمبيوتر لازالت تُستخدم بكفاءة حتى الآن).

فعلى الرغم من أن إضافة الكمبيوتر لأجهزة القياس له مميزاته العديدة، حيث أدى استبدال لوحات المفاتيح التقليدية (switches) بلوحة مفاتيح كمبيوتر (keypad) إلى إعطاء جميع الأوامر عن طريقها مما عمل على الإقلال من المشاكل التي كانت تحدث بسبب "النتوء الكهربي" (Electrical spike) الناشئ من استخدام المفاتيح الكهربية العادية، إلا أن له بعض العيوب مثل: استخدام قيم غير مناسبة بطريقة تكرارية على سبيل الخطأ بالإضافة إلى تعقيد بعض العمليات البسيطة أحياناً بلا مبرر بسبب الاضطرار إلى الاستعانة بقوائم جاهزة بالغة التعقيد.

ومن هذه السلبيات أيضاً أن هناك بعض الأجهزة لا تسمح باستخراج قراءات إلا بعد إدخال أرقام الخطوط والمحطات، بل إن بعض الأجهزة تحتاج إلى معرفة

المسافة إلى المحطة التالية أو المسافة إلى الخط التالي حتى يمكن استخراج البيانات بناء على ذلك.

وقد تكون هناك مميزات واضحة لتطوير إدخال الكمبيوتر على أجهزة تسجيل البيانات (data-logger) فتجعله يخزن تلك البيانات بطريقة رقمية إلا أن هذه الميزة قد أدت في نفس الوقت إلى التكاسل في تسجيل الملاحظات عن الظروف الحقلية الطبيعية على الرغم من أهميتها القصوى، وهذا التقصير قد يرجع إلى عدم توافر الإمكانيات المناسبة في مسجل البيانات كما سنرى في (الفقرة ١,٣,٢).

(١,٢,٢) الأسلاك Cables

تستخدم الأسلاك الكهربية في جميع الأعمال المساحية الجيوفيزيائية تقريباً. وقد تكون هذه الأسلاك قصيرة تكفي لربط الأجهزة الرئيسية بالمجسات أو بالبطاريات وقد تكون طويلة ويصل طولها إلى مئات الأمتار. وقد يتولد "الحث الكهربي" (Electrical induction) بين الأسلاك ويصبح هذا الحث الكهربي مصدراً هاماً من مصادر "التشويش" (Noise). ولهذا الحث الكهربي تعريفات متعددة فيعرف مثلاً "بالازدواج الكهرومغناطيسي" (electromagnetic coupling) ، ويعرف أيضاً "بالتداخلات المتقاطعة" (cross – talk) (راجع الفقرة ٥,٣,١١).

يحتاج تناول الأسلاك الكهربية والتعامل مع فردها ولفها كلما لزم الأمر خبرة وممارسة فعالة وخاصة عندما تكون الأسلاك طويلة. وهناك عدة طرق لهذا التعامل أبسطها طريقة استخدام الذراع والمرفق في لف السلك على هيئة دوائر (loops) أو حلقات ذات عدد محدود (مثل ثمان لفات) على أن يراعى سهولة فكها عند الطلب وبعد خلعها من الذراع. ومن الناحية الأخرى، يتسبب ترك الأسلاك مبعثرة على هيئة كومات غير منتظمة على الأرض، في مشاكل حقيقية. وهناك قاعدة أساسية معروفة في شأن فرد السلك سواء من اللفات اليدوية أو من "بكرة"، وهي أن آخر طرف للسلك

عند لفه هو أول طرف له عند فرده (فكه)، وأن أي محاولة لشد السلك من مؤخرته ستنتهي بكارثة محققة قد تؤدي إلى إضاعة الوقت والجهد وتؤدي أيضاً إلى تقطيع السلك داخلياً.

ومن غير المستحب أيضاً أن تسبب لفات السلك التواء شديد فيه أو تجعله مفتول بصورة دائمة حيث تتكون غالباً لفات دقيقة وضيقة. ويمكن التخلص من كل هذه المظاهر السلبية التي حلت بالسلك بتعليقه تعليقاً حراً ومفروداً على طبيعيته، إلا أنه من النادر توافر مكان لتنفيذ ذلك وخاصة إذا كان السلك طويلا (حوالي ١٠٠ متر أو أكثر).

وهناك طريقة خاصة لعمل لفة السلك في صندوق مفتوح مثل تلك التي تستخدم في الأعمال المساحية السيزمية حيث تستخدم صناديق مواد التفجير القديمة في نقل لفات السلك الخاص بعملية إحداث تفجير (Shot fires). وهناك طريقة أخرى لحمل السلك من مكان إلى مكان عن طريق لفه على بكرة ذات تصميم خاص.

ورغم أن هذه الطريقة أكثر أماناً إلا أنه قد تحدث مشاكل إذا لم يراعى الحذر. فمثلاً إذا لم يشد السلك طوال فترة لفه على البكرة من طرفة الحر فإن البكرة قد تدور بطريقة حرة ويحدث عدم انتظام في اللفات، وهذا هو بداية تعقيد السلك.

وهناك نوع من البكرات يمكن حملها على الظهر أو على الصدر ويمكن لف السلك على هذا البكرات في وضع نموذجي، وعادة ما يكون لهذه البكرات فرملة قوية لتأمين عملية اللف وإحكام لفات السلك وعدم تراخيه عند الانتهاء من هذه العملية. وتباع هذه البكرات مع الأجهزة الرئيسية ويدمج سعرها مع سعر الجهاز نفسه وعادة ما يبالغ في هذا السعر، على الرغم من احتمال قلة جودتها، وإمكانية تصنيع هذه البكرات محلياً أو في الورش العامة بشكل أفضل.

قد تُحدث الأسلاك عبر خطوط المسح الجيوفيزيائي تأثيراً سلبياً على قطعان الماشية والحيوانات المنزلية في منطقة الدراسة، وهذا التأثير قد يكون مثل تأثير التنويم

المغناطيسي حتى أنها تنجذب لهذه الأسلاك بشكل جماعي وهي ترعى العشب والكلاء في الصحراء مخترقة الحواجز العشبية والقنوات والخنادق.

وقد تقرض هذه الحيوانات الأسلاك المكهربة بأسنانها فتقتل في الحال وتفقد جزء من الثروة الحيوانية لها قيمتها الاقتصادية، هذا بالإضافة إلى توقف الأعمال المساحية نتيجة لقطع الأسلاك، ولذلك فالحذر ضروري وأساسي في مثل هذه الظروف.

(١,٢,٣) ربط الأسلاك Connection

تستخدم مشابك خاصة تسمى "مشابك التمساح" (Crocodile clips) في توصيل الأسلاك وربطها مع الأجهزة الكهربية بشكل مناسب. ويمكن أيضاً استخدام فيش (Plugs) كأداة لتوصيل الكهرباء. ويجب استخدام هذه الفيش الكهربية بحرص شديد وبشكل يتناسب مع شدة التيار ونوع الأجهزة المستخدمة، فمثلاً تستخدم فيشة (Plug) قوية تتحمل ضغط الكهرباء العالي في حالة الأجهزة ذات التوصيلات المتعددة.

ودائماً ما تكون التوصيلات الكهربية عند مواضع الفيش أضعف المواضع في كامل نظام منطقة العمل. ويجب وضع الفيش على الأرض بعناية شديدة وعدم إلقائه بدون اهتمام، وإذا لم يكن لها غطاء خاص فيجب تغطيتها وحمايتها بقطعة بلاستيك أو بشريط لحام (Cling-film). ويجب حماية هذه الوصلات (الفيش ومشابك التمساح) من الرمال والرطوبة لمنع تشققها وبريها وتلفها وإصابتها بالصدأ. ويؤثر الاحتكاك المتراكم وتسرب الرطوبة والأتربة إلى تجويف هذه الوصلات سلبياً عليها وفي هذه الحالة يصعب تنظيفها وصيانتها.

يجب تثبيت وربط الفيش الكهربية (Plugs) جيداً بالأسلاك حتى نتجنب تولد إجهاد كهربي عند نقاط التماس المعدنية فتصبح نقاط ضعف يمكن أن تنقطع عندها الوصلات. ومن المؤكد أن يؤدي تكرار ثني الأسلاك عند نقاط الوصلات وخلف الفيش إلى كسر الأجزاء المعدنية للسلك عند هذه المواضع. وأن حدث كسر أو تشقق

للروابط البلاستيكية داخل الفيش نتيجة لجفافها أو سوء استخدامها فيستلزم إصلاحها بلحام الحديد.

وعادة يصعب إجراء هذا اللحام وخاصة إذا كانت الأجزاء المعدنية داخل الفيش مغطاة بلحام قديم أو ازدحمت الأسلاك داخل الفيشة الواحدة فتزداد الصعوبة في هذه الحالة الخاصة.

وللإقلال من مشاكل الفيش الكهربية يجب التأكد من عدم جرها على الأرض أثناء الانتقال من نقطة مساحية إلى أخرى حيث يجب حملها دائماً. ولتجنب أي إجهاد أو قطع في السلك نتيجة للشد المفاجئ للسلك فيجب استخدام اليدين دائماً واحدة تحمل السلك والأخرى تحمل الفيشة نفسها.

عند لف السلك على البكرة فلا يجب أن يتعدى معدل سرعة لف السلك عن معدل سرعة المشي العادي. ويحتاج الأمر إلى عناية خاصة عند لف الأمتار القليلة الأخيرة من السلك على البكرة. ويجب أن تؤمن البكرة بمشابك (Clips) أو أساتيك مطاطية (Sockets)، كما يجب تأمين الفيش (Plugs) جيداً في حالة عدم استخدامها.

(١,٢,٤) المسح الجيوفيزيائي في الأجواء المطيرة

Geophysical Survey in Rainy Weather

يجب أن يحمي الجيوفيزيائي أجهزته من الأمطار ومن البرد والثلج ومن الأتربة وأيضاً الحشرات والثعابين والكلاب وغيرها. ولذلك يحرص الجيوفيزيائي على أن يكون معه غطاء واسع مضاد للمطر لا يغطى به رأسه وجسده فقط بل يغطي به أجهزته المحمولة أيضاً وذلك ليتمكن من الاستمرار في العمل أثناء هطول المطر (الشكل رقم ١,٦).

وتتوقف الأعمال الحقلية الخاصة بالطرق الكهربية عادة عند هطول الأمطار، وهذا يرجع إلى ارتباط هذه الطرق بالأرض التي تتعرض للبلل تحت هذه الظروف مما يؤثر على توصيلها للكهرباء. وقد تتوقف أيضاً الأعمال الحقلية السيزمية حيث تسبب الأمطار الغزيرة "تشويش سيزمي" (Seismic noise).



الشكل رقم (١,٦). يوضح تغطية الأجهزة الجيوفيزيائية والشخص الفني الذي يقوم بالتشغيل وحمايتهم في الأجواء المطيرة، حيث تساعد هذه التغطية على بقاءهم في حالة جافة مع ترك وحدة الجس فقط مكشوفة لعناصر الطبيعة.

بينما يمكن أن تستمر الأعمال الحقلية الأخرى أثناء هطول الأمطار لأنه من المفترض أن معظم أجهزة الجيوفيزياء مزودة بأغطية خارجية مضادة للمياه (Waterproof) وقد تكون مصنعه من مواد مضادة للمياه. ومع ذلك، ولعدم ضمان الظروف الجوية واستقرارها فإنه يجب التزود بالحقائب وأغطية بلاستيكية واسعة يمكن استخدامها في تغطية الأجهزة عند اللزوم، كما يجب أن تتوافر المنشفات الورقية لتجفيف تلك الأجهزة عند الضرورة.

وغالباً ما تستخدم أغطية بلاستيكية شفافة لتغطي كامل الأجهزة أثناء استخدامها في المطر ولكن ذلك الوضع قد يخلق "مسارات كهربية حثية" (Conductive paths) تؤدي بالتالي إلى "انحراف" (drift) في الجهاز مما يؤثر على جودة البيانات المقاسة.

ويمكن لمادة جل السيليكا (Silica gel) المحفوظة بالأجهزة عادة أن تمتص جزء من آثار الرطوبة المتجمعة داخلها ولكنها لا تستطيع أن تقوم بذلك عندما ترتفع درجة الرطوبة عالياً. وقد يكون توافر "مجفف محمول للشعر" في الاستراحة أو المعسكر أهمية كبيرة حيث يمكن استخدامه في تجفيف الأجهزة وإزالة الرطوبة وقطرات المياه العالقة بالأجهزة.

(١,٢,٥) حقيبة العدة (الأدوات) الجيوفيزيائية A geophysical toolkit

تتشابه الأدوات والعدد المطلوبة في الأعمال المساحية الميدانية بغض النظر عن نوع هذه الأعمال الجيوفيزيائية. فيجب أن تحتوي "حقيبة العدة الحقلية" (Field toolkit) على ما يلي:

- زرادية ذات رأس طويل و مدبب (وكلما كان هذا الطرف مدببا أكثر وطويلا أكثر كلما كان هذا مفضلاً).
- عدة أنواع من المفكات؛ على هيئة (+) وعلى هيئة (−) بمقاسات مختلفة.
- مشارط ومطواة (من المفضل أن تكون خفيفة وقابلة للثني والمد).

- قصافة (قطاعه وقشارة) سلك .
- سائل أو بخاخ منظف للوصلات الكهربية (Spray).
- مكواة لحام حديد مدببة (١٢ فولت).
- سبيكة لحام وشفاطة لحام (Solder – sucker).
- كشاف ضوئي (يفضل أن يكون من النوع المرتكز مثل لمبة المكتب ويفضل أن يكون مزدوج)، ويمكن أن يكون لكشاف الرأس الضوئي (head torch) فائدة عظيمة.
- عدسة يدوية (جيب).
- شريط عازل (لحام) ويفضل أن يكون من النوع الذي يمكن دمجه ذاتياً.
- مادة لاصقة (غراء) قوى ولاصق فائق القوة.
- معجون سيليكون.
- مثبت برشام ولحام مضاد للمياه (waterproof sealing).
- سلك معزول وسلك مقشر (عريان) ووصلات كهربية ومشترك كهربي وفيش احتياطي.
- جلب معزولة (insulating sleeving) احتياطي.
- فوط مطبخ، ومناشف ورقية.
- حقائب وأكياس بلاستك ورقائق لاصقة.

وتوافر حقيبة إسعافات أولية لا تقل أهمية عن توافر حقيبة الأدوات والعدة.

(١,٣) البيانات الجيوفيزيائية
Geophysical Data

بعض القراءات الجيوفيزيائية تُكوِّن بيانات حقيقة معبرة عن الواقع، ولكن بعضها الآخر يمكن الحصول عليه بطريقة غير مباشرة من خلال استشفافها من أجهزة الاستكشاف (detectors). وعادة ما تكون القراءات المعينة بين مواقع المحطات أكثر من

تلك التي يتم تعينها في المواقع الأساسية، ولذلك تتأثر القراءات البينية كثيراً باتجاهات امتداد هذه المواقع. وفي هذه الحالة يصبح لتدوين الملاحظات الحقلية الدقيقة حول مواقع أخذ القراءات وتسجيل اتجاهاتها أهمية كبرى.

إذا تم وضع كل من أجهزة الإرسال وأجهزة الاستقبال و/أو الأقطاب على خط مستقيم واحد وأمكن في ذات الوقت عكس (reversed) النظام بأكمله بدون تغير القراءة فإنه في هذه الحالة الخاصة يمكن بالتأكيد اعتبار النقط البينية (المتوسطية midpoint) نقط مناسبة تماماً لأخذ قراءات فيها.

تستلزم الأنظمة الغير متماثلة تدوين ملاحظات من نوع خاص. وفي هذه الأنظمة قد يحدث بصورة شبه مؤكده عدة أنواع من الأخطاء مثل: "أخطاء المواضع" (positioning error) ولذلك يجب أخذ الحذر في الأعمال المساحية السيزمية بشكل خاص وذلك عند تسجيل مواقع المصادر (source) ومواقع أجهزة الكشف (المجسات) (detectors).

(١,٣,١) ترقيم المحطات Station numbering

يجب أن ترقم المحطات على طول خطوط القياس (Profiles) بطريقة منطقية ومتناسقة مع باقي المقاطع في الشبكة الخاصة بمنطقة الدراسة. وهناك نوعان من المحطات، محطات ابتدائية وغالباً ما تحمل أرقام مبدئية مثل (٣)، (٤) وهكذا ومحطات ثانوية يتم اختيارها مؤخراً لملء الفراغات بين هذه المحطات الابتدائية.

وعند اختيار أرقام لهذه المحطات الثانوية (البينية) فيجب ألا تكون بها كسور مثل ٣ ١/٤ ، ٣ ١/٢ ، ٣ ٣/٤ بين المحطتين (٣)، (٤) على سبيل المثال لأن هذه الطريقة غير متقنه في الترقيم ويمكن أن تسبب مشاكل حقيقية. بينما ترقيم محطة ثانوية (بينية) بين محطتين ابتدائيتين تحملان الأرقام 300E، 350E ويفصل بينهما ٥٠ متراً، بالرقم 325E يعتبر شيئاً مقبولاً وسهلاً وليس به لبس.

ليس من المستحب استخدام التعريف E 25 + 300 في المثال السابق للمحطة الثانوية (البينية) لأن هذا الترقيم يستخدم علامة موجب (+) مما قد يسبب مشاكل مع الأنظمة الرقمية للمجال التي تستخدم علامة موجب بمعنى آخر لتحديد اتجاه (N) أو (E).

من المعروف أن جهاز مسجل البيانات (data logger) لا يستطيع التعامل مع القيم السالبة أو رموز اتجاهات البوصلة ولذلك يجب تحديد هذه القيم والاتجاهات بشكل مناسب يؤدى الغرض منها من غير لبس.

إن أفضل طريقة لترقيم محطات مبعثرة بطريقة عشوائية في منطقة ما هي ترقيمها بطريقة تتابعية (تسلسلية). ويمكن تسجيل المواقع في الحقل على الخرائط أو الصور الجوية بالثقب عليها (Pricking) عند هذه المواقع، ثم توضع (تكتب) بيانات هذه المواقع على ظهر هذه الخرائط أو الصور عند الثقوب التي تمثلها.

على الرغم من أن تحديد خطى الطول والعرض لكل موقع بالاستعانة بالخرائط أثناء الأعمال الحقلية شيء مرغوب فيه كما يبدو إلا أن ذلك يعد مضيعه للوقت الثمين الذي يمكن أن يستخدم في أعمال حقلية أكثر أهمية، بالإضافة إلى احتمال الخطأ في التقدير لهذه الخطوط.

ولذلك يستخدم الآن جهاز استقبال (GPS) في تحديد خطوط الطول والعرض لكل موقع في الحقل (فقرة ١,٥). وقد يحتاج الأمر في الأعمال المساحية التفصيلية إلى استخدام جهاز GPS تفاضلي (differential GPS) للحصول على معلومات أكثر دقة.

من السهل حدوث ازدواجية في الأرقام على سبيل المصادفة وذلك عندما يشترك أكثر من شخص في عمل مساحي واحد. ولذلك يجب تسجيل أسماء الأشخاص الذين قاموا بالعمل بجوار نتائج أعمالهم في كل دفاتر الحقل وأوراقه وذلك للرجوع إليهم في حالة وجود أي خطأ أو لبس.

(١,٣,٢) تسجيل النتائج Recording the Results

من المعروف أن النتائج الجيوفيزيائية هي في الأصل رقمية ولذلك يجب تسجيلها بمنتهى الدقة والعناية وبصورة تفوق مثيلاتها في الأعمال الحقلية الجيولوجية الوصفية. وذلك لأن الخطأ أو عدم وضوح كلمة مكتوبة في دفتر الحقل يمكن تداركه واستنتاج معناها من سياق الكلام، أما الخطأ أو عدم الوضوح في مجموعة أرقام كتبت بصورة غير مقروءة لا يمكن تداركه نهائياً، والاحتياج الشديد إلى تسجيل الأرقام بمنتهى الدقة والعناية أثناء الأعمال الحقلية الجيوفيزيائية يرجع إلى احتمالية ورود الخطأ أكثر من الجيوفيزيائيين عنه من الجيولوجيين.

والسبب في ذلك يرجع إلى أن الجيوفيزيائيين يتعاملون مع أجهزة معقدة قد تتعرض إلى الانحراف أو إلى التوقف بسبب انقطاع التيار أو تغير شدته في أي لحظة بالإضافة إلى حرصهم على الانتهاء من الأعمال الحقلية في أقل وقت ممكن لتوفير نفقات استئجار الأجهزة الذي عادة ما يكون باهظ الثمن ؛ كل هذه الظروف تجعلهم متعجلين ومشدودين ومتوترين مما قد يؤدي إلى وجوب الحرص والعناية لتجنب الخطأ المحتمل.

هناك احتمال لعدم كتابة الأرقام جيداً وكذلك عدم قراءتها بشكل صحيح وهذا يرجع إلى الظروف الحقلية السيئة التي يتم فيها تسجيل البيانات. فالأشخاص الذين يقومون بهذه الأعمال قد يتعرضوا لدرجات الحرارة أو للبرودة أو للرطوبة الشديدة أو للعطش الشديد. ومن المحتمل تحت هذه الظروف الجوية الصعبة أن يحذفوا بعض النتائج الصحيحة ويستبدلونها بنتائج غير صحيحة وذلك في لحظات من اللبس أو عدم التركيز المؤقت.

ولذلك محظور محو (erased) أي بيانات مطلقاً قد سجلت في أوراق العمل الجيوفيزيائي الحقلي. ويجب أن يجرى التصحيح فوق الكلام أو بجوار العبارة غير الصحيحة مع الاحتفاظ بها بصورة مقروءه. وإذا كنا نرغب جدياً في الإقلال من

احتمال الخطأ فإنه يجب الالتزام بكتابة تقرير البيانات بشكل محدد وملزم. وتؤدي قراءة الجهاز مرتين عند كل محطة جديدة وتسجيل هاتين القراءتين في كل مرة إلى الإقلال من احتمال وقوع أخطاء جسيمة.

إذا فقدت البيانات الجيوفيزيائية لأي سبب فإنه يصعب استرجاعها ، فهي ليست كالبيانات الجيولوجية الوصفية التي يمكن تذكرها وإعادة تسجيلها عند فقدها من دفتر الحقل. ولذلك فإنه يجب إعداد نسخة من نتائج البيانات الجيوفيزيائية الأصلية أثناء الأعمال المساحية الحقلية وذلك إما باستخدام الصفحات المزدوجة وإما باستخدام ورق الكربون أو بنقلها وتبيضها كل مساء.

وأيّاً كانت الطريقة الجيوفيزيائية المستخدمة فإنه يجب فصل أصل البيانات عن النسخة المستخرجة منها فوراً وحفظها في مكانين منفصلين. وإذا لم يتم ذلك ، وحدث وأن حفظت النسختين معاً وفقدا معاً ، فلا معنى لإعداد نسختين من البيانات أصلاً. ويطبق مبدأ إعداد نسختين من البيانات سواء حفظت هذه البيانات في جهاز مسجل البيانات داخل الجهاز الحقلي المستخدم أو في جهاز مسجل ملحق بالجهاز الحقلي. ويجب مراجعة هذه البيانات وإعداد نسخة منها احتياطية (back up) كل مساء.

وعادة ليس "لجهاز مسجل البيانات" الرقمي القدرة الكاملة على حفظ البيانات الغير رقمية ، ولذلك يناط بالشخص الذي يقوم بالأعمال المساحية الحقلية بصفة شخصية أن يقوم بتسجيل الملاحظات والتعليق على العديد من الخصائص منها : الوضع الطوبجرافي (تضاريس المنطقة) ، والعوامل الجيولوجية والعوامل البشرية والمصطنعة والعوامل المناخية التي قد تؤثر في النتائج الجيوفيزيائية.

وإذا لم يتم ذلك فإن البيانات التي جمعت قد تستقراء بطريقة غير سليمة. وإذا لم يستخدم جهاز تسجيل البيانات (data logger) فيجب تسجيل التعليقات والملاحظات عن الموقع في دفتر الحقل على جانب القراءات المأخوذة فإنه يجب حفظ بيانات تكميلية مناسبة في مكان ما عن الموقع.

يفضل، بل يصبح من الضروري رسم اسكتش توضيحي جانبي للموقع خاصة في حالة الأعمال المساحية الأثرية والهندسية حيث تؤخذ البيانات على هيئة كم هائل من القراءات والأرقام لتمثيل مساحة صغيرة. وعندما يكون تحديد المسافات بين النقاط المساحية (survey points) أو بين الخطوط المساحية مقاسة من معالم بيئية معينة أمراً هاماً فيجب إعداد خرائط تخطيطية واضحة ومزودة بمقياس رسم.

ومن مسؤوليات المشتغلين بالأعمال الحقلية الجيوفيزيائية استيعاب معلومات زملائهم الجيولوجين التي تهمهم عن المكان المقدمين على زيارته، وكذلك أن يكونوا على استعداد لتسجيل ميل الطبقات وامتدادها، وربما جمع عينات صخرية والعودة بها إذا كان ذلك مفيداً.

(١,٣,٣) دقة الإجراءات وحساسية الجهاز وضبط المعلومات
Accuracy, Sensitivity and Precision

يجب التفريق بين مفهوم دقة الإجراءات (accuracy) وحساسية الجهاز (Sensitivity). فعلى سبيل المثال يستجيب جهاز قياس الجاذبية الأرضية (Standard gravity meter) للتغيرات الحقلية بحساسية تصل إلى عشر (٠,١) وحدة قياس الجاذبية (gravity unit) ولكن يمكن تنفيذ نفس المستوى من الدقة إذا تم فقط أخذ القراءات بعناية من جهاز آخر قد يكون حساسيته مختلفة، ويتبع ذلك باقي إجراءات تصويب الانحرافات (drift) أو تأثيرات المد والجذر (tidal effects) وهكذا تكون الدقة محدودة، وليست محددة بحساسية الجهاز المستخدم.

أما ضبط المعلومة (Precision) فهو متعلق فقط بطريقة عرض النتائج الرقمية (بمعنى مستوى تقريب الرقم العشري المستخدم). ويجب مراعاة مستوى الدقة المطلوبة ومدى مطابقتها مع طريقة عرض النتائج وضبطها (أنظر مثال رقم ١,١). ويجب الحرص على عدم المبالغة في عملية ضبط المعلومة حتى لا يؤدي ذلك إلى إهدار الوقت أو إلى الاستنتاجات الزائفة.

مثال (١,١)

– قراءة الجاذبية الأرضية (Gravity reading) = 858.3 scale units.

– ثابت المعايرة (Calibration constant) = 1.0245 g.u لكل وحدة مقياس (راجع الفقرة ١,٢,١).

– القراءة المحولة (Converted reading) = 879.32835 g.u ولكن دقة القراءة هي فقط (0.1 g.u) تقريباً وعلى ذلك: تصبح القراءة المحولة = 879.3 g.u.

وعلى ذلك فإن "ثابت المعايرة" يحتاج إلى عملية ضبط مقداره أربعة خانات عشرية، وذلك لأن حاصل ضرب 858.3 في 0.0001 تساوي تقريباً 0.19 g.u.

قد تجرى القياسات الجيوفيزيائية بدقة أكثر من الدقة المطلوبة، أو تجرى بطريقة أكثر من المطلوب توافره لاستخدامها في استقراء هذه القياسات من قبل الخبراء. وعلى الرغم من هذا، ليس مطلوباً إلا أنه يجب عادة البحث عن أقصى درجات الدقة الممكنة لعلها تساعد في زيادة فاعلية تحليل البيانات.

(١,٣,٤) الانحراف Drift

عادة لا تعطى الأجهزة الجيوفيزيائية نفس نتائج القراءات حتى إذا تكررت القراءة في نفس الموقع وبنفس الجهاز، وهذا قد يرجع إما لتغيرات في خلفية المجال الطبيعي وإما إلى تغيرات في الجهاز نفسه وهو ما يعرف باسم انحراف الجهاز (drift). وغالباً ما يكون تصحيح هذا الانحراف هو أول خطوة أساسية قبل البدء في تحليل البيانات. ودائماً ما يعتمد هذا التصحيح على تكرار القراءات في المحطات الثابتة (base station)؛ راجع فقرة (١,٤).

وغالباً ما يحدث انحراف للجهاز عندما يتعرض إلى ارتفاع أو انخفاض في درجات الحرارة، وعلاقته ليست خطية بين قراءتين للجهاز أخذت إحداهما في جو بارد نسبياً في البداية والأخرى أخذت في نهاية يوم كانت درجة حرارته في وقت

الظهير أعلى من بدايته بـ ١٠ أو ٢٠ درجة. وقد تصبح الدورات (الحلقات) المساحية (Survey loops) محددة بفترات زمنية تصل إلى ساعة أو ساعتين فقط.

يجب إجراء حسابات انحراف الأجهزة وتصحيحها أثناء تواجد فريق العمل في منطقة المشروع وذلك حتى يمكن تدارك أي أخطاء في التصحيح وإعادة أخذ القراءات في الموقع إذا لزم الأمر.

قد تؤدي التغيرات في خلفية المجال الطبيعي (background field) إلى نوع ما من الانحراف الذي يمكن رصده وتحديده إما بطريقة مباشرة في الحقل (كما هو الحال في الطرق المغناطيسية) أو بطريقة غير مباشرة حسابية (كما هو الحال في طرق الجاذبية الأرضية). وإذا كانت هناك بدائل بخصوص الانحراف وأسبابه فيمكن الاختيار فيما بينها حتى لو كان البديل هو التغاضي عن سوء أداء الجهاز نفسه.

(١,٣,٥) الإشارات والتشويش Signal and Noise

إن الهدف من إجراء الأعمال المساحية التي يقوم بها الجيوفيزيائي هو الحصول على إشارات أو استجابات مفيدة (Signals) يمكن تسجيلها. وهناك نوع آخر من الاستجابات غير المفيدة ولذلك تسمى تشويش (noise). وما يراه شخص ما إشارات مفيدة يراه الآخر تشويش.

وتأكيداً لنظرية تقييم الأشياء النسبي نعرض مثالاً : عندما تفسير البيانات الصادرة من تأثيرات مغناطيسية لأنبوبة مدفونة فإن البعض يعتبرها شيئاً مزعجاً إذا عولجت هذه الاستقراءات بمفهوم المصطلحات الجيولوجية، ولكن هذا الاستكشاف نفسه لا يقدر بثمن بالنسبة لشخص يرغب في استثمار الموقع.

تحتاج معظم الدراسات الحقلية الجيوفزيائية إلى تحسين النسبة بين الإشارات (signals) والتشويشات (noises) ولذلك فهي تسعى جاهدة لذلك. في معظم الأحوال، وكما هو الحال في الأعمال المساحية المغناطيسية، تعتبر التنوعات (الاختلافات) في خلفية المجال الطبيعي مصدراً للتشويشات ولذلك يحتاج الأمر إلى مراقبة دقيقة.

إحصاء التشويش العشوائي (random noise) له أهمية في الأعمال المساحية السيزمة والراديومترية (الإشعاعية) (radiometric) وفي الاستقطاب الحثي (IP).

ينتج عن إضافة سلاسل طويلة عشوائية محصاة بالعدد (N)، ولكل منها متوسط سعة قدره (A)، سلسلة عشوائية واحدة بمتوسط سعة قدره:

$\sqrt{N} \times A$ وحيث إن الإشارات المتطابقة (N) التي تحتسب سعتها المتوسطة (A) بنفس الطريقة الحسابية، تولد إشارة سعتها الكلية $A \times N$، فمن البديهي أن يؤدي تكرار (stacking) إشارات عددها (N) والتي يتخللها تشويش عشوائي إلى تحسين النسبة بين الإشارات والتشويشات بمقدار العامل ($\sqrt{N}$).

(١,٣,٦) المتغيرات والانحراف القياسي للمنحنى

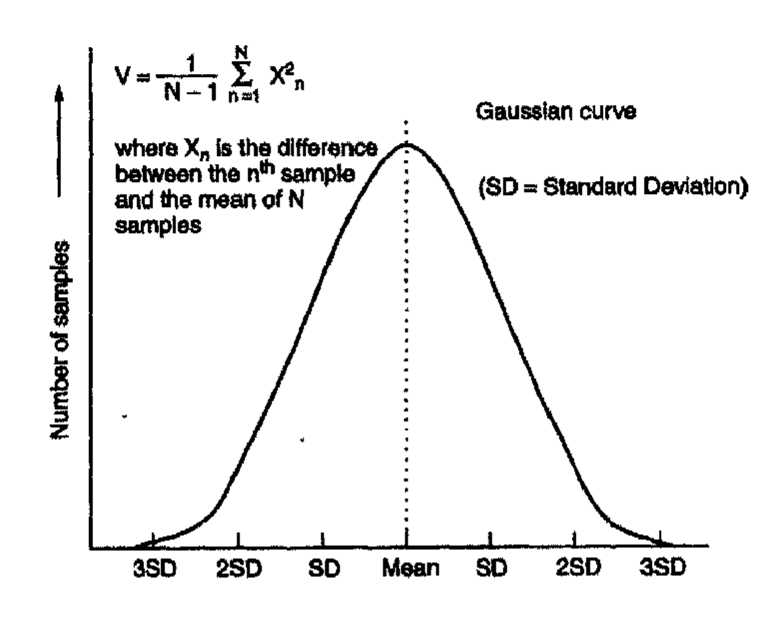
Variance and Standard Deviation

غالباً ما تتبع "التغيرات العشوائية" (random variation) قانون التوزيع العادي (normal) أو الجوسي (Gaussian) الذي يوصف "بمنحنى الاحتمالية" (Probability curve) ذو الشكل الناقوسي (bell – shaped).

وقد يتميز التوزيع العادي (Normal distribution) بثلاث خصائص هي: "متوسط حسابي" (Mean) (ويساوي مجموع القيم مقسوماً على عددها)، "متغيرات" (variances) (وهي معرفة في الشكل رقم ١,٧)، و"انحرافات قياسية" (standard deviations) ويرمز لها بالرمز (SD) وهي تساوي الجذور التربيعية لهذه المتغيرات. وتقع حوالي ثلثي القراءات في منحنى التوزيع العادي ضمن الانحراف العادي الأول (1SD) عن المتوسط، ويقع أقل من 0.3% من القراءات في أكثر من (3CD).

يشيع استخدام خاصية "الانحراف القياسي" بين المقاولين عند الاستشهاد بمصداقية أعمالهم المساحية، وذلك يرجع إلى حساسية قيمة الانحراف القياسي في التعبير عن الأخطاء حيث يمكن لقيمة انحراف صغيرة أن تحجب بفاعلية العديد من الأخطاء الكبيرة. وتقوم الأعمال المساحية بتوفير بيانات حقلية حقيقية كافية لأهم

التطبيقات الإحصائية المعتمدة، وغالباً ما يفترض أن تطبيق التوزيع العادي أكثر التطبيقات واقعية.



الشكل رقم (١,٧). يوضح منحنى التوزيع "الجوسي". ويبدو المنحنى متماثلاً وتقع ثلثي المساحة أسفلة (بمعنى ثلثي العدد الكلي للعينات) ضمن "انحراف قياسي" واحد في المتوسط.

(١,٣,٧) الشذوذ Anomalies

يحتاج استقراء النتائج الجيوفيزيائية إلى شيئين هما: توافر عدد كبير من القراءات، وتحديد مستوى تنوع خلفية المجال الإقليمية كمرجع يقاس عليه ولذلك فنادراً ما يكون لقراءة واحدة أي مغزى حقيقي. وكل ما يقوم به الخبير في عملية الاستقراء هو تحديد الاختلافات عن مستوى الخلفية الإقليمية والتي من المفترض ثبوتها في المنطقة الواحدة، ويسمى هذا الاختلاف شذوذاً (anomaly) عن المألوف في منطقة الدراسة.

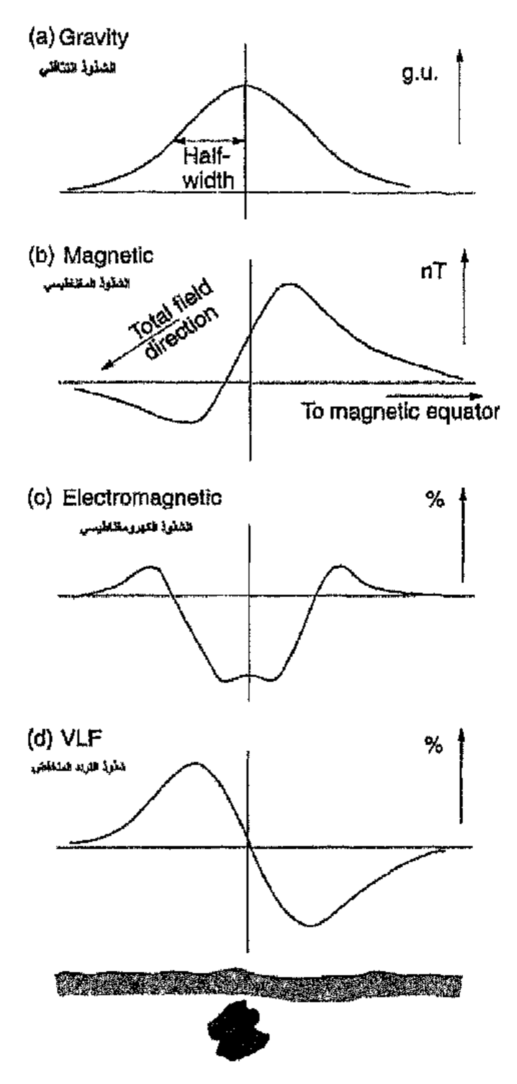
ويأخذ الشذوذ الجيوفيزيائي أشكالاً كثيرة. وقد يكون خام كبريتات كتلى يحتوي على معدن البيروتيت (pyrrhotite) كثيف (ثقيل) (Dense) وله مغناطيسية (magnetic) وقدرة على التوصيل الكهربي (electrically conductive). ويوضح الشكل رقم (١,٨) قطاعات نموذجية للشذوذ مسجلة فوق هذا الخام لمختلف الطرق المساحية الجيوفيزيائية. وتطابق هذه القطاعات ذات الأشكال المختلفة أشكال واسعة التنوع لخطوط كنتورية محتملة.

وتختلف أيضاً مجالات الخلفية الطبيعية وقد تعتبر، بمختلف المقاييس خلفية شاذة. ويمكن على سبيل المثال أن يمكث نطاق تمعدن (mineralization) له شذوذ جاذبي على خلفية عريضة وعالية القيمة (شاذة) ناتجة من تواجد كتلة من الصخور النارية القاعدية. وتعتبر عملية الفصل بين القيم الناشئة من الخلفية الإقليمية وتلك الناشئة من الأجسام المتبقية المسببة للشذوذ جزء هام من معالجة البيانات الجيوفزيائية وحتى أثناء الأعمال الحقلية قد يكون من الضروري تقدير الخلفية الإقليمية حتى يمكن تقييم مغزى الشذات المحلية.

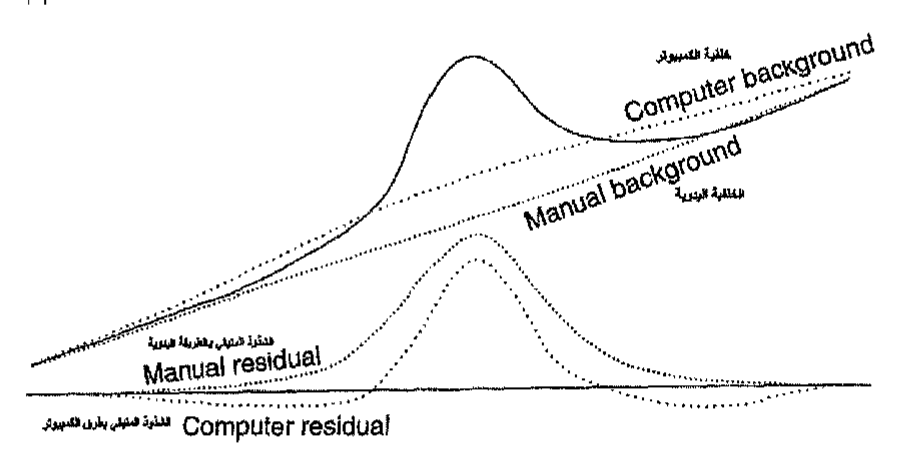
وفي القطاعات قد يكون تقدير خلفية المجال الطبيعية باستخدام العين أكثر مصداقية من تلك المقدرة باستخدام الكمبيوتر، وهذا يرجع إلى استحالة واقعية لكتابة برنامج الكمبيوتر له القدرة على توليد خلفية طبيعية للمجال غير متأثرة بقيم الشذوذ (الشكل رقم ١,٩). ومع ذلك فإن طرق الكمبيوتر أساسية وخاصة عند محاولة اشتقاق الخلفية من البيانات المجمعة من المنطقة فضلاً عن تلك المجمعة خلال خط واحد.

ويدل وجود شذوذ على الاختلافات بين نموذج عالمي حقيقي وبعض النماذج البسيطة، وفي الأعمال المساحية الجاذبية تستخدم عادة مصطلحات "الهواء الحر" (free air)، "بوجير" (Bouguer) و"الشذوذ الايزوستاتيكي" (isostatic anomaly) ليدل على الكميات المشتقة التي تمثل الاختلافات عن النماذج الإجمالية للأرض.

وأحياناً أن ما يطلق عليه شذوذ يكون في الواقع ثابتاً على مستوى مساحة صغيرة من الأرض أي أن تلك المساحة ليست شاذة. ولكن استخدام مصطلح مثل "تثاقل بوجير" (أكثر من مصطلح شذوذ بوجير Bouguer anomaly) يؤدي إلى تجنب هذا الالتباس.



الشكل رقم (١,٨). يوضح قطاعات نموذجية للشذوذ المغناطيسي مسجلة فوق خام البيروتيت – الكبريتي. ويمثل القطاع (a) شدة الشذوذ الجاذبي ويقدر بالقليل من (g.u)، بينما يمثل القطاع (b) الشذوذ المغناطيسي الذي يقدر ببضع مئات من (nT). ويمثل القطاع (c) شدة المجال الكهرومغناطيسي لنظام الملف المزدوج متحد المستوى، ويمثل القطاع (d) زاوية الميل في نظام (VLF). ولا يوجد في هذه القطاعات ما يمثل الشدة بأكثر من حوالي ٢٠٪.



الشكل رقم (١,٩). يوضح مقارنة بين خلفية المجال الطبيعي باستخدام العين المجردة والخلفية باستخدام الكمبيوتر. وتميز خلفية المجال باستخدام العين المجردة الفصل بين الشذوذ الإقليمي والشذوذ المحلي، ومن المحتمل أن يكون الشذوذ المتبقي المطابق تقريباً جيداً لتأثير المصدر المحلي الحقيقي. وتنحرف خلفية المجال المرسومة بالكمبيوتر متأثرة بالشذوذ المحلي وعندئذ يجنح الشذوذ المتبقي المطابق على هيئة قاع منحنى.

(١,٣,٨) طول الموجة ومنتصف العرض Wavelengths and Half-Widths

غالباً ما يشبه الشذوذ الجيوفزيائي في البروفيل (القطاع) الموجات العابرة (transient waves) ولكن مع اختلافها في الاتساع أكثر منها في الزمن. ووصفهم "بالتردد" (frequency) و "بمحتوى التردد" (frequency content) يستخدم غالباً بطريقة فضفاضة غير محددة المعنى على الرغم من أن مصطلح "عدد الموجه" (wave number) (وهو عدد الموجات الكاملة في وحدة المسافات) صحيح من حيث الدقة اللغوية.

وقد يستخدم مصطلح "طول الموجة" (wavelength) بالمعنى الضيق للكلمة للتعبير عن اختلاف الكمية المكانية (spatially varying quantity) ولكن يستخدم هذا المصطلح بطريقة غير دقيقة عندما يكون الأمر متعلق "بالشذوذ الجيوفيزيائي" (geophysical anomalies) وذلك يرجع إلى أن هذا الشذوذ يوصف على أنه يتكون من

"طول موجه" منفرد يمكن أن تتحول بتحليل "فورير" (Fourier) إلى مركبات لها أطوال موجه مختلفة.

والكمية الأكثر سهولة في تقديرها هي "نصف العرض" (half-width) الذي يساوي نصف المسافة بين نقطتين التي عندهما تسقط السعة إلى نصف النهاية العظمى للشذوذ (انظر الشكل رقم ١,٨ a). وهذه المسافة تساوي تقريباً ربع طول موجة المركبة الجيبية (sinusoidal component) السائدة، ولكن القيمة لها ميزة حيث يمكن قياسها مباشرة من البيانات الحقلية. وطول الموجة (wavelengths) ونصف العرض (half-width) لهما أهمية خاصة لأنهما مرتبطان بمقدار العمق إلى المصدر المراد قياسه . الأشياء الأخرى دائماً متساوية فالمصدر الأعمق يعطي الشذوذ الأعرض.

(١,٣,٩) عرض النتائج Presentation of the Results

يمكن عرض نتائج الأعمال الجيوفيزيائية على امتداد خطوط المقاطع على شكل بروفيل (Profile) (قطاع) كما هو واضح في (الشكل رقم ١,٨). وعادة يكون هناك احتمالية لتوقيع البروفيلات في الحقل أو على الأقل رسمهم في نهاية اليوم مع تقدم العمل الحقلي.

ولهذه القطاعات أهمية كبيرة في مراقبة الجودة أثناء الأعمال المساحية الحقلية. ويمكن للكمبيوتر المحمول (laptop computer) أن يختزل العمل المطلوب، وكثيراً من الأجهزة الحديثة وأجهزة مسجلات البيانات (data loggers) مزودة ببرامج كمبيوتر تظهر البروفيلات أثناء إجراء الأعمال المساحية في الحقل.

ويمكن استخدام خط المقطع المرسوم على الخريطة الطوبجرافية على أنه خط أساسي (baseline) للبروفيل الجيوفيزيائي. وهذا النوع من تقديم المعلومات يساعد بوجه خاص في تحديد الشذوذ الناتج من الأغراض المصطنعة حيث يمكن أن تتم مضاهاة هذه الهيئات، مثل الطرق، مع حدود المنطقة ومعالجتها بشكل واضح.

وإذا رسمت البروفيلات على طول عدد من المقاطع المختلفة بهذه الطريقة على خريطة واحدة فإنها تسمى "بروفيلات متراصة" (stacked profiles)، وهي الكلمة التي تستخدم أيضاً عند إضافة مجموعات من البيانات المتنوعة للحصول على مجموعة واحدة في النهاية (فقرة ١,٣,٥).

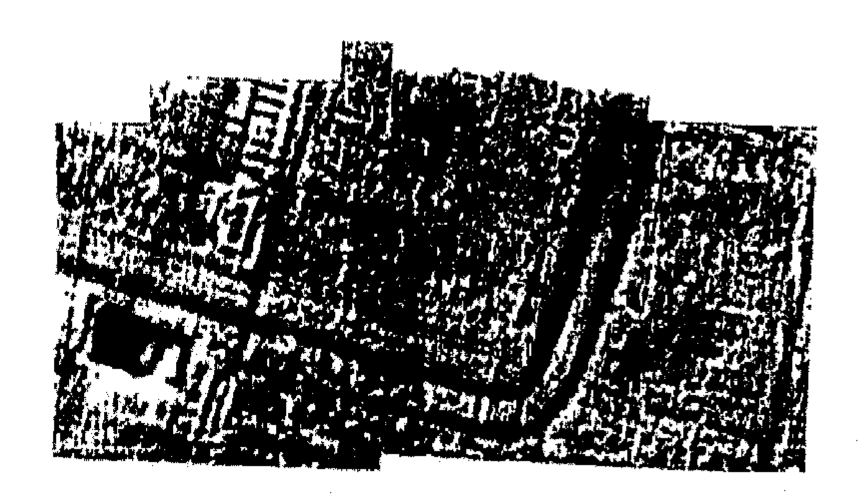
وترسم الخريطة الكنتورية المستخدمة في الحقل فقط إذا أمكن سريعاً تحديد امتداد بعض الهيئات وبذلك يمكن التخطيط للأعمال في المسافات الشاغرة بين المحطات المقاسة، ولكن دائماً ما يؤدي الاستخدام الروتيني للكمبيوتر المحمول إلى الاختزال السريع لزمن الحكم على جودة البيانات. ومع هذا، تفقد بعض المعلومات أثناء عملية رسم الخريطة الكنتورية لأنه، بصفة عامة، من الصعب اختيار قيم تقسيمات خطوط الكنتور بشكل مناسب.

ويتم رسم خطوط الكنتور أيضاً في المناطق التي تقع بين المقاطع، على الرغم من عدم وجود بيانات، وعلى ذلك يتواجد حتماً نوع من أنواع التشتت. ولا تعطى عندئذ اختبار أشكال الكنتور إجابة كاملة للتحكم في جودة الأعمال الحقلية. وتوصف القطاعات التي تقطع الخرائط الكنتورية والتي تسمى "قطاعات أولية" (Pseudo sections) في الفقرات (٦,٣,٥ و٧,٤,٢).

وفي الأعمال المساحية الهندسية لموقع ما، حيث يكون المطلوب على سبيل المثال رصد مصادر التلوث (pollution monitoring)، ودراسة المواقع الأثرية (archaeology) تقع الأشياء المطلوب تحديدها قريبة جداً من سطح الأرض ويصبح تحديد موقع هذه الأشياء أهم من تحديد أعماقها.

وعلاوة على ذلك فهي عادة تكون صغيرة ويتولد عنها شذوذ يمكن تحديده فقط في مساحات صغيرة جداً. وعندئذ فإنه يجب جمع المعلومات الحقلية من خلال شبكة كثيفة الخطوط وغالباً ما يمكن أن تكون هذه الشبكة أكثر فاعلية عندما تستخدم

قيم ضبط الخلفية الطبيعية للموقع لتحديد لون أو مقياس ظلال اللون الرمادي لعناصر الصورة "بيكسل" (Pixels) الذي يمكن معالجته باستخدام تقنيات معالجة الصورة (image-processing techniques). وعندئذ يعاد وضع الاستقراء على أساس التمييز الشكلي ونادراً ما يكون لقيمة البيكسل الفردية أية أهمية. ويستبعد التشتت بالعين المجردة حيث أنه من السهل التمييز في الصورة الموضحة في (الشكل رقم ١٠,١) أيهما يدل على نشاط اصطناعي من صنع الإنسان.



الشكل رقم (١٠,١) يوضح صورة لبيانات مغناطيسية تم معالجتها لموقع أثري.

(١٠,٣,١) أجهزة تسجيل Data Loggers

حدث تقدم سريع خلال العشر سنوات الأخيرة في تحويل الأجهزة الجيوفيزيائية التي تستخدم في الأعمال المساحية المحدودة إلى أجهزة أوتوماتيكية لتسجيل البيانات. وعلى الرغم من أن كثيراً من الأنواع القديمة من الأجهزة لازالت تستخدم وتعطي نتائج لها قيمتها في الأعمال المساحية إلا أنها الآن تتنافس مع متغيرات تشمل أنواعاً من دمج الكمبيوتر في أجهزة القياس.

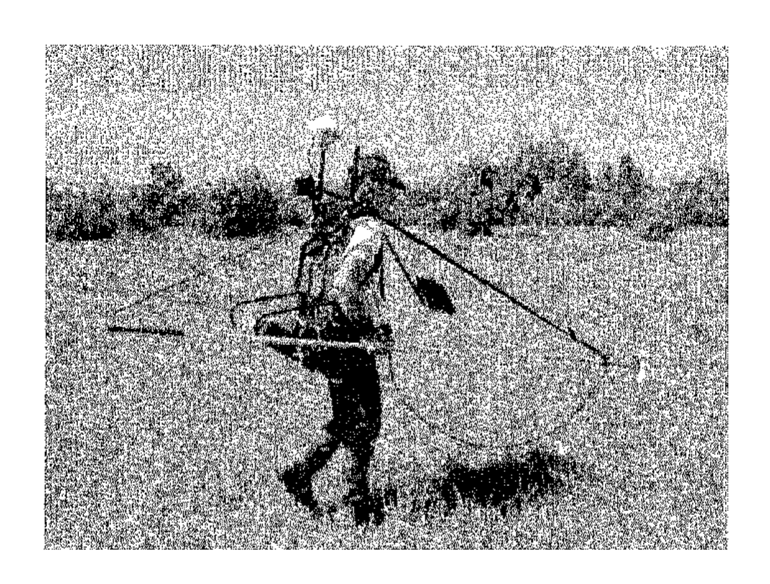
وهناك من المصنعين من يتباهى بافتخار بأنه "لا داعي لدفتر الحقل" بعد الآن، وبالرغم من ذلك فإن الجهاز المستخدم مزود فقط بلوحه مفاتيح رقمية لا يمكن من خلالها إدخال تعليقات مكتوبة (أكثر من حواف) في ذاكرة الكمبيوتر. وفي الأجهزة الأوتوماتيكية الأخرى تكون البيانات المعروضة قليلة وموضوعة بشكل غير مريح للمشاهد حيث لا تعرض بالشكل الذي جمعت به. وتعتمد مراقبة الجودة غالباً على استرجاع المعلومات لاحقاً وعرض جميع البيانات، ومن الأساسي جداً القيام بهذا العمل يومياً على الأكثر كما ذكرنا سابقاً.

يعد جهاز تسجيل البيانات أوتوماتيكياً (Automatic data logger) سواء تم تركيبه في الأجهزة الجيوفزيائية نفسها أو كان منفصلاً عنها، مفيداً على وجه الخصوص عندما يمكن جر هذه الأجهزة أو دفعها أو حملها على طول خط القياس للحصول على قراءات مستمرة واقعية.

وغالباً كل ما يحتاجه الشخص المسئول عن الجهاز ليحقق هذا هو أن يقوم بالضغط على "مفتاح" ليبدأ عملية أخذ القراءات، ويمشي على خط القياس بسرعة ثابتة، ويضغط على المفتاح مرة ثانية عند اكتمال القياس (traverse). وعندما يزيد طول خط المقطع عن ٢٠ متراً فإن الأمر قد يحتاج إلى ضغطات إضافية على المفتاح لتسجيل نقاط دليلية بينية بين نقطتي البداية والنهاية.

أثناء التسجيل المستمر والمتتابع للأجهزة الأرضية تظهر بعض الأخطاء مثل تلك الشائعة في المسح الجوي لكن الكثير من هذه الأخطاء انتهى الآن بتحسين الطرق التعويضية (compensation methods) والملاحية أو السير باستخدام جهاز تحديد الموقع باستخدام الأقمار الصناعية العالمية (GPS). وهذه الأخطاء يمكن تقسيمها عموما إلى: أخطاء في الإزاحة (parallax errors)، وأخطاء ترويسية (Heading errors)، وأخطاء الوضوح/الاتصال بالأرض (ground clearance / coupling)، وأخطاء أخرى ترجع إلى تنوع سرعة السير (speed variation).

وفي النظام الموضح في (الشكل رقم ١,١١) قد يحدث أخطاء في إزاحة (parallax errors) مرجعها المسافة الرأسية بين المجس المغناطيسي (magnetic sensor)، و"مجس" تحديد المواقع باستخدام (GPS sensor).



الشكل رقم (١,١١). يوضح صورة لجهاز قياس المغناطيسية مزدوج مع نظام GPS الملاحي التفاضلي. ما لم يجري التخصيص في العميات التعويضية بين هوائي جهاز (GPS) والموضوع خلف رأس مشغل الجهاز ومجس جهاز المغناطومتر الموضوع عن طرف طرف العمود الأفقي، فإن منطقة الشذوذ ستحدد بطريقة غير صحيحة على خرائط تفصيلية.

ويمكن أن يحدث أخطاء مشابهه أثناء تنفيذ الأعمال الحقلية حينما يسجل الموقع بضغطه على المفتاح في جهاز مسجل البيانات. وإذا ضغط المفتاح بيد مشغل الجهاز عندما يمر فضلاً عن مرور "المجس" على حدود المنطقة، فستظهر البيانات من مواقعهم الحقيقة. وإذا قطع أحد خطوط المقطع البديلة على الشبكة بالاتجاه المعاكس سيظهر بشكل شوكة السمكة (herring bone) متطفلاً على الشذوذ الخطي (linear anomaly) مع

تذبذب موقع النبضة (peak) ذهاباً وعودة طبقاً للاتجاه الذي يسير فيه مشغل الجهاز (الشكل رقم ١٢, a١).

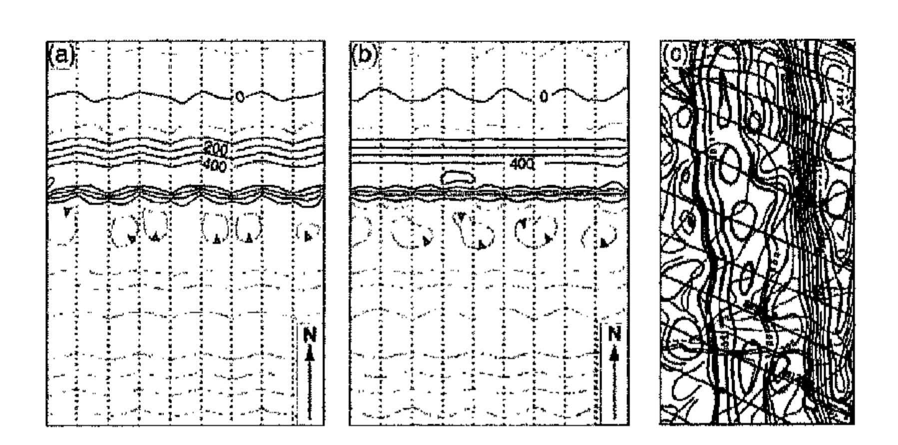
ويمكن أن يتولد أيضاً "الشذوذ الكاذب" (False anomalies) في الأعمال المساحية الجوية وذلك إذا حدث تغيرات في تضاريس سطح الأرض، ويمكن الآن أن يشاهد نفس هذا التأثير في الأعمال المساحية الأرضية. إن الاحتفاظ بالمجس المشاهد في (الشكل رقم ١,١١) على ارتفاع ثابت من سطح الأرض ليس بالشيء السهل (على الرغم من وجود جهاز قياس البعد معلقاً في "المجس" والذي يمكن أن يساعد في الاحتفاظ بارتفاع ثابتاً).

يوجد على مستوى سطح الأرض ميلاً لتولد تأثير متكرر منتظم مصاحب لحركة الشخص الفني المشغل للجهاز، وهذا يمكن أحياناً أن يظهر في الخرائط الكنتورية على هيئة "نطاقات شريطية" (striping) ممتدة على الاتجاه العمودي على "المقاطع" وذلك عندما ترتبط خطوط "القمم" و"القيعان" على الخطوط المجاورة بعضها ببعض عن طريق إجراء "عملية الكنترة الألجوريثميه" (contouring algorithm).

على المنحدرات سيكون من المحتم، وجود ميل في اتجاه "المجس" في الجهة المقابلة للمشاهد لكي يقترب من الأرض وذلك في حالة الصعود أكثر منها في حالة الهبوط. كم سيؤثر ذلك في الخرائط النهائية حيث أنها ستتغير مع طبيعة المنطقة، ولكن في منطقة تتميز بثبوت الانحدار فسيكون هناك ميل لكي تختلف مستوى الخلفية على الاتجاه العمودي على خطوط "المقاطع" المأخوذة في الاتجاه المقابل. وسينتج عن هذا تأثيرات منتظمة في اتجاهين مختلفين (herringbone effects) على الخطوط الكنتورية الفردية في المناطق المنخفضة التدرج (الشكل رقم ١٢, b١).

وتقع "أخطاء الترويسة الرأسية" (Heading errors) في الأعمال المساحية الجوية (وخاصة المغناطيسية الجوية منها) وذلك يرجع إلى أن تأثير الطائرة على "المجس" يعتمد على اتجاه الطائرة. ويمكن أن يحدث تأثير مشابه في الأعمال المساحية المغناطيسية الأرضية إذا كان الشخص الفني الذي يقوم بالملاحظة حاملاً لأي متعلقات حديدية أو

معدنية صلبة. وسيختلف تأثير المغناطيسية الحثية في هذه الأهداف طبقاً للاتجاه المواجه، منتجاً تأثيرات تشبه تلك التأثيرات المتولدة عن المنحدرات الثابتة، بطريقة مشابه لتلك الموضحة في (الشكل رقم ١٢،b١).



الشكل رقم (١،١٢). يوضح أشكال التشويهات في خطوط الكنتور الأوتوماتيكية للشذوذ الخطي. ويمثل الشكل(a) خطوط منكسرة متقابلة ترجع إلى خطأ تماثلي، بمعنى ثبوت التعويض بين مراجعة الموقع والمراجعة الجيوفيزيائية، خطوط تبادلية مقاسة في الجانب المقابل. ويمثل الشكل (b) خطوط منكسرة متقابلة ترجع إلى ثبوت الاختلاف في مستويات الخلفية على خطوط مقاسة في الاتجاهات المقابلة (أنظر المناقشة المذكورة في الكتاب). لاحظ ذلك في هذه الحالة حيث يظهر التأثير بالكاد على الشذوذ الواسع الذي يمثل بخطوط كنتورية سميكة بفترة كنتورية تقدر بـ ١٠٠ (nT)، بينما يظهر هذا التأثير بوضوح في المناطق ذات الشذوذ الضئيل حيث يمثل بخطوط كنتورية رقيقة (رفيعة) بفترة كنتورية تقدر بـ ١٠ (nT) و٥٠ (nT). ويمثل الشكل (c) مقدمة خطوط كنتورية مغلقة عند قمة الشذوذ الخطي رسمت باستخدام برنامج تحكم ذاتي يبحث عند التدرجات المتساوية في كل الاتجاهات. ويمكن لتأثير مشابه أن يرى في أشكال فقاعية لخطوط شديدة التقارب في الجانب الجنوبي للشذوذ في شكل (b) وفي كلتا الحالتين لا يتحتم ارتباط الأشكال بالبيانات، التي تتواجد فقط على طول خطوط القطاع وتمثل بنقط في شكل (b)، وخطوط مستمرة في شكل (c).

قبل استخدام جهاز الـ (GPS) الملاحي، كانت التغطية لمسار الطيران في الأعمال المساحية الجوية تعتمد على مد الخطوط بين النقاط المعروفة على الصور فوتجرافياً. وكان ضرورياً افتراض ثبوت السرعة بين هذه النقاط، ويظهر الشذوذ عندما يختل هذا أو لم يتحقق. ويمكن أن يشاهد الآن تأثير مشابه على مسجل البيانات في الأعمال الأرضية المساحية.

ومن الأسباب العملية الشائعة لانحراف أو لإزاحة الشذوذ قليلاً أن يقوم الفني المشغل للجهاز إما بالضغط على مفتاح الجهاز ليبدأ التسجيل في بداية المقطع، ثم بعد ذلك يبدأ هذا الشخص في السير، أو في نهاية المقطع، يتوقف عن السير وعندئذ فقط يضغط على المفتاح لإيقاف التسجيل. ويمكن تجنب هذه التأثيرات بالتصميم على أن يبدأ مشغل الجهاز في السير قبل بداية المقطع ويستمر في السير حتى تمر بأمان نقطة النهاية. وإذا، مع ذلك، تغيرت السرعة نتيجة لوعورة الأرض، فكل ما يمكن عمله هو زيادة عدد نقاط العلامات المرشدة.

وكثيراً من أجهزة مسجلات البيانات لا تسجل فقط البيانات ولكن تظهرها على شاشة بشكل واف لإظهار القطاعات الفردية والمركبة، لإتاحة درجة كبيرة من مراقبة الجودة في الحقل. وعادة ما يجرى مزيد من مراقبة الجودة في نهاية باستخدام برامج المراقبة الأوتوماتيكية (الذاتية) على كمبيوتر محمول شخصي، ولكن لابد أن تتاح الفرصة لإظهار الحقيقة القائلة بأن برامج مراقبة الجودة الأوتوماتيكية تميل إلى إدخال تشوهاتها الخاصة بها (الشكل رقم ١٢,C١).

(١,٤) القواعد وشبكات المحطات الأساسية
Bases and Base Networks

تعتبر "القواعد" (Bases) (المحطات الأساسية base stations) هامة جداً في المسح الحقلي لكل من الجاذبية والمغناطيسية الأرضية، وكذلك في بعض الأعمال الكهربية والإشعاعية. ومن أنواع تلك القواعد أو المحطات الأساسية ما يلي:

١ – قواعد (محطات) الانحراف Drift bases

وهي محطات متكررة تقوم بتسجيل البدايات والنهايات لسلسة القراءات المتتابعة وتستخدم لمراقبة الانحراف.

٢– القواعد (المحطات) المرجعية Reference bases

وهي نقاط يتم فيها قياس نموذجي حقلي لتكون مرجعاً لقياسات أخرى محيطة.

٣– القواعد (المحطات) اليومية Diurnal bases

وهي نقاط تقاس فيها الخلفية السائدة في المنطقة بطريقة منتظمة وذلك أثناء أخذ القراءات الحقلية في أماكن مختلفة في نفس المنطقة.

ويمكن لمحطة منفردة أن تفي بأكثر من وظيفة من هذه الوظائف. وغالباً ما تعتمد مصداقية الأعمال المساحية، وكذلك الراحة والطمأنينة التي سيتم بها العمل مستقبلاً ويرتبط بها، على درجة جودة ودقة القياسات في المحطات الأساسية – base station.

وسوف تناقش متطلبات المحطات الأساسية لكل طريقة من الطرق الجيوفيزيائية في الفصول القادمة ولكن سيناقش الآن الإجراءات المشتركة لهذه المحطات والمطبقة في أكثر من نوع من أنواع الطرق الجيوفيزيائية على النحو التالي:

(١,٤,١) مبادئ المحطة الأساسية Base Station Principles

لا يوجد سبب مطلق لماذا يجب أن يتطابق أي نوع من أنواع المحطات الثلاث (السابقة الذكر)، إلا أن الأعمال المساحية تميل إلى الإجراء الأبسط وإلى الأقل خطأ إذا كانت كل "محطة انحراف" هي أيضاً "محطة مرجعية". وإذا، وهذا ما دائماً يحدث، كانت هناك عدد محدود جداً من النقاط المرجعية اللازمة لتنفيذ هذا التطابق بكفاءة، فإن أول خطوة في الأعمال الحقلية يجب أن تكون تأسيس شبكة محطات ملائمة للغرض منها.

ليس أساسياً أن تكون "المحطة اليومية" جزء من هذه الشبكة، ولأنه لا يمكن أن يشغل جهازين نفس الموقع تماماً في نفس الوقت، فإنه في الحقيقة من غير الملائم أن تكون هذه المحطة جزء من هذه الشبكة. ومع ذلك، فإذا كان يجب أن يستخدم "الرصد اليومي" (diurnal monitor)، فإن العمل سيبدأ عادة كل يوم بوضع الجهاز والانتهاء من العمل بإزالته من موضعه.

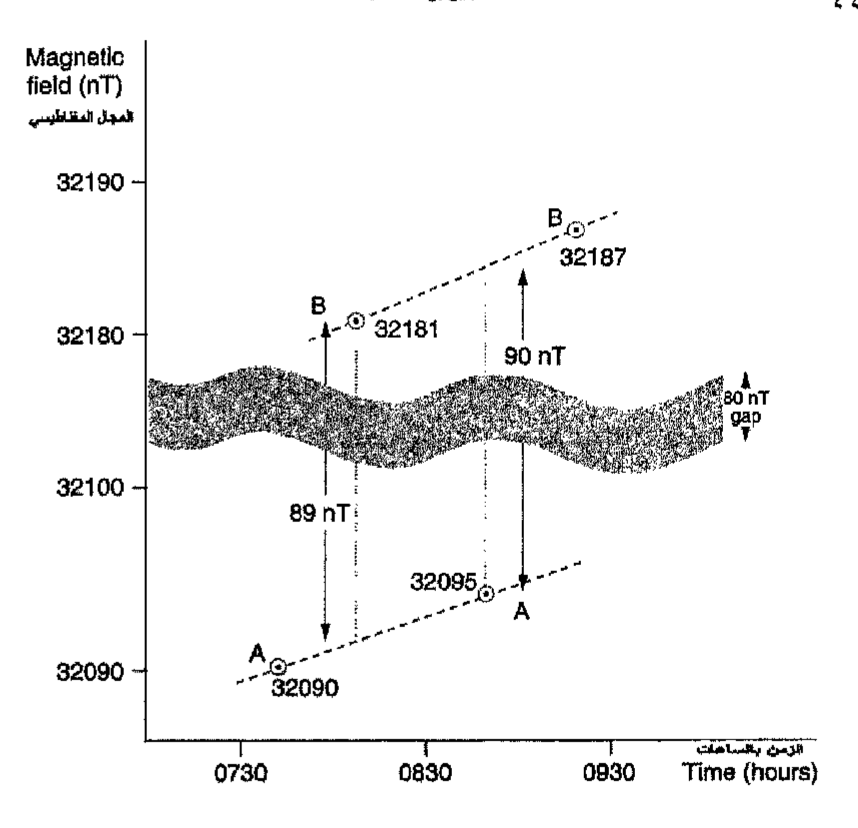
ومن التجارب الجيدة أن يتم أخذ قراءة من الأجهزة الحقلية في محطة الانحراف في موقع الرصد أو قريب منه وفي هذا ستكون فرصة مناسبة لملاحظة أي تغيرات بين القراءات المتزامنة في المحطة ومن الأجهزة الحقلية.

(١,٤,٢) الروابط ABAB (ABAB ties)

عادة ما تربط المحطات معاً باستخدام نموذج روابط ABAB (الشكل رقم ١,١٣). تؤخذ القراءات في المحطة (A) ثم ينقل الجهاز سريعاً بقدر الإمكان إلى المحطة (B). ويتكرر أخذ القراءات عند النقطة (A) ومرة ثانية عند (B). ويجب أن تكون الأزمنة بين القراءات قصيرة حتى يمكن تكوين علاقة خطية "للانحراف" (drift) وأحياناً أيضاً "للتغيرات اليومية"(diurnal variation) كما هو مفترض.

ويمكن أيضاً أن تكون القراءة الثانية عند (B) هي الأولى في نظام مشابه يربط (B) بالمحطة (C)، في عملية ونظام يعرف باسم "التحلق الأمامي" (forward looping).

وينتج عن كل مجموعة مكونة من أربعة قراءات تقديرين من الاختلاف في قوة المجال بين المحطتين، وإذا لم يتفق هذا مع "حدود دقة الجهاز" (accuracy limits) (كما هو مشاهد في الشكل رقم ١,١٣ بمقدار nT ±)، فإنه يجب إجراء مزيد من إجراءات الربط. ويجب حساب الاختلافات في الحقل حتى يمكن إجراء أي ارتباطات ضرورية زائدة في الحال.



الشكل رقم (١,١٣). يوضح روابط ABAB بين محطات في المسح المغناطيسي باستخدام جهاز (nT). ويصل الاختلاف المقدر بين الخطين إلى ٨٩ (nT). ويلاحظ أنه قد يكون من الضروري "إزالة" بعض نطاق الشكل لإتاحة فرصة توقيع النقط بدقة كافية.

(١,٤,٣) شبكة المحطات الأساسية Base Networks

أصبحت معظم الأجهزة الجيوفيزيائية الحديثة دقيقة وسهلة جداً في أخذ قراءتها، لدرجة أن الخطأ في أي تقدير الروابط ABAB للاختلاف في القيم بين نقطتين يجب أن يكون طفيفاً جداً.

ومع ذلك، فقد تشمل القيم النهائية التي تم الحصول عليها في نهاية سلسلة ممتدة من الروابط، على كمية كبيرة من الأخطاء المتراكمة. وقد تكون سلامة نظام

المحطات مضمونة إذا كونت هذه المحطات جزء من شبكة ترتبط فيها كل محطة أساسية بمحطتين أخريين على الأقل.

ويحسب "عدم الإغلاق" (Misclosures) عن طريق تجميع الاختلافات حول كل "لفة"، مع أخذ العلامة في الاعتبار، وعندئذ تختزل إلى الصفر وذلك بعمل أصغر ضبط ممكن للاختلافات الفردية. والشبكة الموضحة في (الشكل رقم ١,١٤) بسيطة بطريقة كافية لإجراء عملية الضبط عن طريق الفحص والمعاينة.

ويمكن تنظيم وضبط شبكة أكثر تعقيداً عن طريق الكمبيوتر، مستخدماً المربعات الأصغر أو معايير أخرى، ولكن هذا ليس ضرورياً للأعمال المساحية الصغيرة والمحدودة .

(١,٤,٤) اختيار المحطات الرئيسية Selecting Base Stations

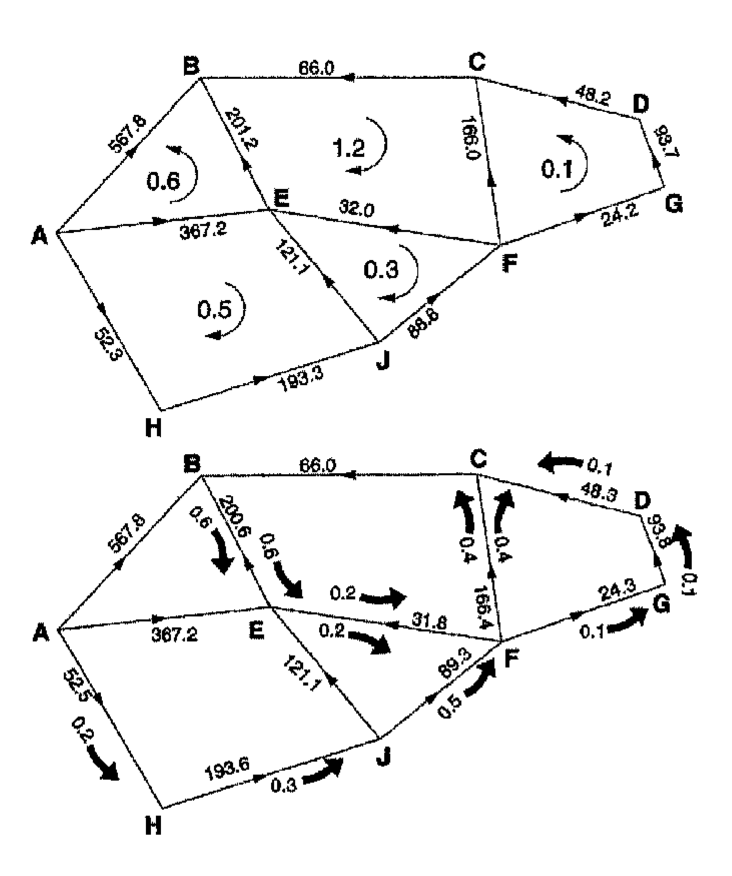
أنه من المهم أن توصف هذه المحطات بشكل واف، ويوضح لها علامات ثابتة كلما كان ذلك ممكناً، حتى يمكن إتمام عمليات ربط الامتدادات أو عملية التحشية البينية بما سبق انجازه من أعمال وذلك عن طريق شغل نفس المواقع السابقة بدقة.

ومن الأفضل دائماً وصف مواقع المحطة باستخدام المظاهر الواضحة والتي تميل أكثر للثبات. وفي أي منطقة مسح هناك بعض النقاط والمواقع المميزة لأن بها مظاهر تميزها سواء هذه المظاهر من صنع الإنسان أو طبيعيه.

ويعتبر الوصف المكتوب أو رسم مخطط (sketch) من أفضل الطرق لحفظ المعلومات عن هذه النقاط في المستقبل. والرسومات التخطيطية الجيدة دائماً ما تكون أفضل من الصور الفوتوجرافية، وذلك لأنها يمكن تركز على أبرز النقاط المميزة للموقع.

والثبوت في المحطات مشكلة، فمثلاً صيانة "محطات الجاذبية" (gravity bases) في مطار دولي هي تقريباً مستحيلة وهذا يرجع إلى أن مباني العمل الجيوديسية دائماً ما تكون في أمان ولكنها قد تكون مواقع معزولة ومكشوفة. وغالباً تكون مواقع الأبنية الخاصة بالتماثيل والمباني التذكارية والتاريخية والدينية ليس فقط مواقع هادئة ودائمة

الثبوت بل إنها أيضاً تقدم مواقع بها بعض الظلال اللازمة للحماية من الشمس، والرياح والأمطار.



الشكل رقم (١,١٤). يوضح ضبط شبكة المحطات الأساسية بتوزيعات مختلفة. ويمثل الشكل (a) عدم إغلاق قدره ١,٢ وحدة في الدورة BCFE وهذا قد يدل على خطأ إما في الخط "الغير مدعم" (BC) فقط أو في الخط (BE) وهو الخط الوحيد الذي يربط بشكل مشارك في دورة أخرى لها عدم إغلاق واسع. ويمثل الشكل (b) قياسات أجريت على أساس الافتراض بأن الخط (BC) قد رُوجع وقد وجد أنه سليم ولا يمكن بعد ذلك إجراء مراجعة أخرى.

(١,٥) جهاز تحديد المواقع الأرضية باستخدام الأقمار الصناعية
Global Positioning Satellites; (GPS)

قد توفر في الأسواق منذ عام ١٩٩٠م أجهزة استقبال (GPS) صغيرة رخيصة بشكل معقول يتم حملها باليد بسهولة. وحتى شهر مايو عام ٢٠٠٠م، مع ذلك، لم تكن دقة هذه الأجهزة قد وصلت لأكثر من بضعة مئات من الأمتار في الموقع وأقل من ذلك في الارتفاع، وذلك بسبب التخميد المتعمد للإشارات المنبعثة لأسباب عسكرية (وهذا ما يسمى "بالانتفاع التفاضلي" أو SA (selective availability).

وتحتاج الأعمال الأكثر دقة إلى استخدام جهاز (GPS) التفاضلي ويسمى (DGPS) ويشمل محطة أساسية وتسجيلات في كل من الحقل والمحطة، لمتوسطات مقدره للأقمار الصناعية المنفردة جميعاً. ويسمح التصحيح الانتقالي الذي يمكن أن يلتقطه جهاز الاستقبال الحقلي، بالحصول على "الزمن الحقيقي للموقع الحركي" (RTKP) (real-tome kinetic positioning) .

ولأن هناك ما يسمى "بالانتفاع التفاضلي" (SA)، فإن الطرق التفاضلية أساسية إذا كان المطلوب هو الطرق التقليدية بهذه الطريقة في معظم الأعمال المساحية، وعلى الرغم من ذلك فإن درجة الدقة التي يمكن الحصول عليها تكون دائماً أكثر من المطلوب للأعمال المساحية الجيوفيزيائية.

(١,٥,١) درجات الدقة في أجهزة الاستقبال (GPS)
Accuracies in Hand-Held GPS Receivers

إن إزالة عنصر "الانتفاع التفاضلي" (SA) بطريقة درامية (مثيرة) سيقلل من خطأ تحديد الموقع في أجهزة الـ GPS العادية الغير تفاضلية، وقد يؤدي إلى الحصول على الإشارات بطريقة أسهل.

وغالباً ما يكون هناك احتمالية الآن في الحصول على شكل ثابت خلال ظلال الغابات، على الرغم من أن وجود المباني أو الصخور الصلبة بين جهاز المستقبل للـ GPS والأقمار الصناعية يظهر ويبدو عائقاً "غير فوقي" (insuperable).

وتكون القراءة المأخوذة عموماً من أجهزة الـGPS الصغيرة المحمولة، لكل من قراءة الارتفاعات، وتقاطعات خطوط الطول والعرض للموقع، مقربة إلى أقرب متر، أو ما يقابلها من خط العرض وخط العرض (0.00001°).

وتقل درجة الدقة بصورة واضحة بسبب "أخطاء المسار المتعدد" (multi-path errors) (وهذا يعني أن الانعكاسات من طوبجرافية المنطقة ومن المباني تسبب مسارات بديلة لها أطوال مختلفة) وكذلك بسبب الاختلاف في خصائص الأحوال الجوية.

وتقع معظم التأثيرات الجوية في غلاف "الأيونوسفير" (ionosphere) ويعتمد على درجة عملية التأين ودرجة اختلافها. وهكذا فهي أكثر قوة أثناء دورات النشاط الشمسي العالي، وخاصة أثناء العواصف المغناطيسية (فقرة ٣,٢,٤).

وبسبب الاختلافات الجوية، فإنه عادة ما تختلف "التقاطعات الثلاثة جميعاً" (three co-ordinates) التي تظهر على جهاز (GPS) المحمول يدوياً، بصورة أعلى من المتوسط بالعديد من الأمتار وذلك لفترة زمنية تصل إلى عدة دقائق، وكذلك بالعديد من عشرات الأمتار لفترات زمنية أطول.

وعلى الرغم من ذلك، فإنه عملياً يمكن استخدام جهاز (GPS) المحمول يدوياً الآن في الأعمال المساحية التي تكون فيها المسافات البينية التي تفصل المحطات ١٠٠ متر أو حتى أقل وذلك يرجع إلى أن أخطاء جهاز (GPS)، حتى إذا كانت تمثل أجزاء مهمة من هذه المسافات البينية بين المحطات، ليست تراكمية كباقي الأخطاء الأخرى.

وزيادة على ذلك، فإن التحرك السريع من محطة إلى محطة يكون، في التأثير، مثل شكل بدائي من جهاز (DGPS)، وإذا تحقق الثبوت في المحطات المجاورة لمدة دقائق معدودة لكل منها، فإن الخطأ في تحديد المسافات البينية سيكون من رتبة الـ ٥ أمتار أو أقل.

ونظرياً، فإن هذا لا يتحقق، وذلك يرجع إلى أنه يجب إجراء التصحيحات الخاصة بالاختلافات في مسار الانتقال فردياً لكل قمر صناعي مستخدم على حدى، وهذا لا يمكن تحقيقه عن طريق أجهزة (GPS) المحمولة والمتوفرة الآن في الأسواق.

ومع ذلك، فإذا كانت كل من المسافات والفترات الزمنية البينية بين القراءات صغيرة فإنه أغلب الظن قد تستخدم نفس مجموعة الأقمار الصناعية لجميع القياسات وستكون التغيرات الجوية صغيرة أيضاً).

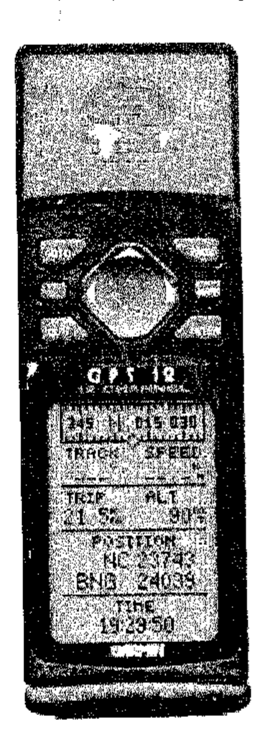
(١,٥,٢) تحديد الارتفاعات باستخدام أجهزة استقبال الـ GPS المحمولة يدوياً
Elevations From Hand-Held GPS Receivers

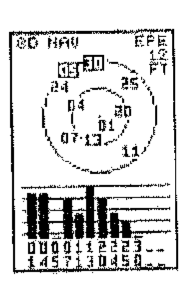
في بعض الأعمال الجيوفيزيائية، يمكن قبول الأخطاء حتى ١٠ أمتار في تقاطع خطوط الطول والعرض أفقياً ولكن هذه الأخطاء غير مقبولة بالنسبة للارتفاعات، وعندئذ لا يزال الأمر في حاجة إلى جهاز DGPS. وهناك تعقيدات زائدة للارتفاعات المقاسة بطريقة ابتدائية بواسطة جهاز (GPS)، حيث إن هذه الارتفاعات لها مرجع على هيئة "قطع ناقص" (ellipsoid) (الشكل رقم ١,١٥). ومع هذا، فإن مستوى الارتفاع الإقليمي دائماً ما يتحدد على أساس الموقع المحلي "الجيويد" (geoid) وذلك من خلال متوسط مستوى سطح البحر في بعض الموانئ المختارة.

ومن الشائع وجود اختلافات تصل على العديد من عشرات الأمتار، بين كل من "الجيويد" و"القطع الناقص"، وهناك شكوى متكررة من الأشخاص المستخدمين فحواها أن أجهزتهم لا تظهر علامة الصفر أبداً عند مستوى سطح الأرض. وفي الحالات القصوى، يمكن أن يزيد الاختلاف عن ١٠٠ متر.

وتعطي معظم الأجهزة المحمولة يدوياً درجة ثبوت وضعي باستخدام ثلاثة أقمار إلا أنها تحتاج إلى أربعة أقمار صناعية لمجرد المحاولة للحصول على الارتفاع. وهذا يرجع إلى شمول الكميات الغير معلومة عند كل ثبوت للقيم التعويضية بين الساعة الداخلية للجهاز والساعة المتزامنة في مجموعة الأقمار الصناعية.

تحتاج أربعة مجاهيل وأربعة قياسات. ولسوء الحظ، في بعض الحالات لا تشمل شاشة الجهاز التي تظهر تقاطعات الطول والعرض، على المعلومات المستقاة من المعلومات الملاحية ثلاثية الأبعاد (3D navigation)، والدليل الوحيد هو أن القمر الصناعي الرابع قد فقد وهناك احتمال للتغيرات في قراءات الارتفاعات والانخفاضات نتيجة ذلك.





الشكل رقم (١,١٥). يوضح صورة لجهاز GPS ماركة (Garmin 12). وتوضح الصورة أن هذا الجهاز له شاشة ملاحية، تعطي الموقع (في الشبكة القومية للمملكة المتحدة المتطابقة في هـــذه اللحظة)، وتعطي الارتفاعات عن سطح البحر بالقدم أو بالمتر، وتعطي الزمن واتجاه السير (المستخدم في نموذج السير المستمر) وسرعته. وتوضح الشاشة أيضاً نافـــذة القمر الصناعي. وتظهر مقدره توافر الأقمار الصناعية على الـــشاشة الرئيـــسية. وتظهر شدة الإشارة على هيئة أعمدة سوداء ولا يوجد علامة تدل على أي مـــن الأربعة يكون صالح للاستخدام الحقيقي والواقعي لحساب الموقع. وتضيء الأقمار الغير ملتقطة بالأرقام (٥-٣٠). لاحظ وجود دليل ظاهر على هذه الشاشة خاص بالملاحة 2D/3D، ولا يوجد إنذار على شاشة الملاحة بأن الملاحة ثنائية الأبعاد فقط هي التي تمت (باستخدام ثلاثة أقمار فقط) وعلى ذلك فلـــيس هنـــاك إمكانيـــة لاستخدام تقدير الارتفاع.

الفصل الثاني

طريقة الجاذبية
GRAVITY METHOD

تؤدي الاختلافات في كثافة الصخور إلى تغيرات متباينة في "مجال الجاذبية الأرضية" (Earth's gravity field) الذي يمكن قياسه باستخدام أجهزة خاصة تعرف باسم أجهزة قياس الجاذبية أو الجرافيمتر (Gravimeters).

(٢,١) الأسس الفيزيائية لطريقة الجاذبية
Physical Basis of the Gravity Method

يعرف ثابت الجاذبية (G) بأنه يساوي ٦,٦٧ × ١٠ ⁻¹¹ نيوتن متر² كجم⁻² وتعادل عجلة الجاذبية الأرضية (accelerations) لها وحدة SI ، وتكافئ ms^{-2} (وتكتب NKg^{-1} كبديل). وتعد تلك الوحدة كبيرة وغير ملائمة للأعمال الجيوفيزيئية حيث تستخدم عادة وحدة "gu" أو وحدة ums^{-2} ولازالت وحدة "cgs" ، المللي جال ، والتي تكافئ 10 gal ، شائعة الاستعمال حتى الآن في معظم حالات قياس الجاذبية الأرضية.

(٢,١,١) مجال الجاذبية للكرة الأرضية Gravity Field of the Earth

يكافئ المجال الجاذبي للكرة الأرضية نفس المجال الجاذبي تقريباً لكرة لها نفس متوسط نصف القطر ونفس الكتلة ولكنها تزيد قليلاً في اتجاه القطبين. ويختلف المجال

عند القطب عنه عند خط الاستواء بحوالي ١/٢٪ أو ٥٠٠٠٠ g.u. ويصل معدل التغير إلى الصفر عند كل من القطبين وخط الاستواء بينما يصل هذا المعدل إلى أقصى قيمة له وهي حوالي ٨ g.u لكل كيلو متر عند خط عرض ٤٥ درجة إلى الشمال والجنوب (الشكل رقم ٢،١).

وتوصف العلاقة بين التجاذب العادي (جاذبية الأرض العادية) عند مستوى سطح البحر، وخط العرض قيمته λ درجة "بالصيغة العالمية للتثاقل" والتي أقرت عام ١٩٦٧م كما يلي:

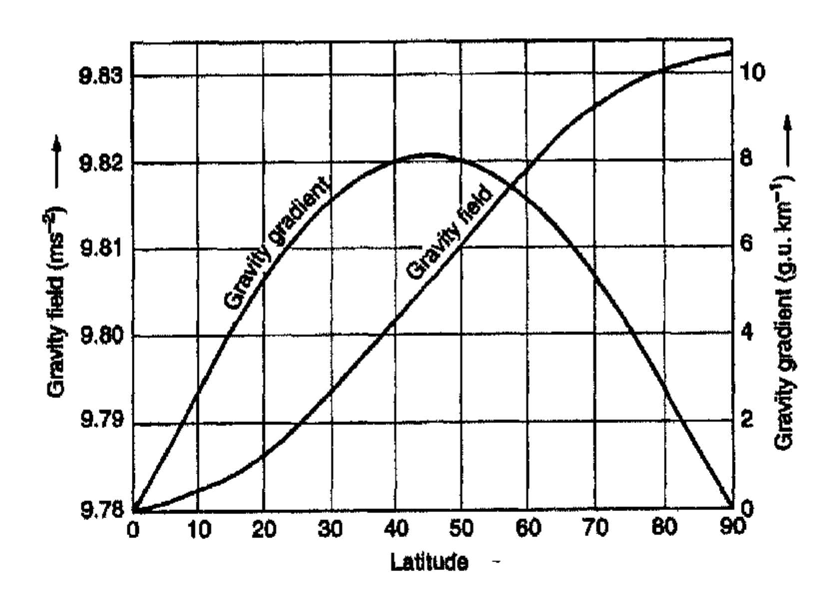
$$g_{norm} = 97803185 + 51629.27 \sin^2 \lambda + 229.5 \sin^4 \lambda$$

وعلى ذلك فإن القيمة النظرية لجاذبية الأرض (الجاذبية) على مستوى سطح البحر عند خط الاستواء قد تصل إلى 9780318.5 u.g. وقد حلت هذه الصيغة الجديدة محل النسخة القديمة لعام ١٩٣٠م وذلك باختلاف طفيف في الثوابت (التي تتضمن ثابت الجاذبية لمستوى سطح البحر عند خط الاستواء والذي يصل إلى 9780490 u.g.). وكان تغير الصيغة القديمة ضرورياً عندما اكتشف أن القيمة المطلقة لجاذبية الأرض في "نظام بوتسدام" (Potsdam system) للمحطات الأساسية (base station) خطأ بحوالي 160 u.g. ويحتاج تصحيح هذا الخطأ في ظل المعلومات المتطورة المتاحة عن شكل الكرة الأرضية، تغيراً متماثلاً لهذه الصيغة.

وتعرف شبكة المحطات الأساسية الدولية والتي تتفق مع الصيغة العالمية للجاذبية (IGF) لسنة ١٩٦٧م، بـ (IGSN71) (انظر الملاحظات في كشف المراجع). وأنه من الشائع حتى الآن أن تجد أعمال مساحية تثاقلية تطبق الصيغة القديمة (1930 IGF) لمعلومات تنتمي إلى صيغة شبكة المحطات الأساسية الدولية (IGSN71) أو إلى تلك الصيغة الخاصة بـ (1967)، على قيمة "بوتسدام". وقد أدى ذلك إلى أخطاء تصل إلى (160 u.g.) في القيم المصححة لدوائر العرض(latitude-corrected values).

وحديثاً أصبح هناك تحرك نحو استخدام صيغة معدلة ومتناغمة تماماً مع نظام الجيودسيا العالمي لسنة ١٩٨٤م (WGS84). وأصبحت المعادلة أكثر تعقيداً من تلك المعروفة في ١٩٦٧م بـ (IGF67)، حيث يحتاج إدخال كتلة الغلاف الجوي في الاعتبار إلى تصحيح إضافي يعتمد على الارتفاعات عن سطح البحر.

وحيث إن التغيرات الفعلية التي تتضمنها القيم النظرية للجاذبية عادة ما تكون أصغر من الأخطاء الموجودة في القيم المطلقة للجاذبية في المحطات الفردية، وحيث لا يحتاج الأمر تغيرات في قيم المحطة الأساسية، فإن التغير الكلي لا يعتبر (بوجه عام) مطلباً ملحاً بل يتم إجراؤه على مهل.



الشكل رقم (٢,١). يوضح التغيرات في المجال الجاذبي لمستوى سطح البحر (نظرياً)، وكذلك في التدرج الأفقي شمال – جنوب مع خطوط العرض. ليس هناك تدرج في الاتجاه شرق – غرب في المجال النظري.

ويمكن لحوض ترسيبي رئيسي أن يقلل من مجال الجاذبية بمقدار يزيد على 1000) (u.g.، ولكن هناك أهداف شائعة أخرى، مثل كتلة الخامات، تسبب شذوذاً (anomalies) يصل إلى بضع ملي جالات (u.g.). بينما تسبب التكهفات والفراغات الأرضية الصناعية مثل المناجم القائمة، عادة، تأثيرات أقل (قيم سالبة)، وخاصة عندما تكون قريبة جداً من سطح الأرض. وقد تكون للتضاريس التأثير الأكبر في القيم الجاذبية حيث يسبب الاختلاف في الارتفاعات (وحدة) بين "قمة جبل إيفرست" ومستوى سطح البحر اختلافاً في القيم الجاذبية يصل إلى(20 000 u.g.).

ويجب أن تقاس التغيرات للجاذبية بدقة تصل إلى (0.1 u.g.) للأغراض الجيولوجية والهندسية، (حيث تمثل هذه القيمة تقريباً جزءاً من مائة مليون من مجال الكرة الأرضية)، وتمثل هذه القيمة الدقيقة "الحساسية العملية" لجميع الأجهزة الحديثة لقياس الجاذبية. وتقرأ الأجهزة التي تسمى "أجهزة قياس الجاذبية الدقيقة ميكروجرافيتي" (Microgravity meters) بدقة تصل إلى (0.01 u.g.)، وبالرغم من ذلك فلا يطالب المصنعين لهذه الأجهزة (أصحاب المصانع) بدقة (تصنعيه) تزيد عن (0.03 u.g.).

(٢,١,٢) كثافة الصخر Rock Density

تمثل وحدة الكثافة في نظام (SI) بـ $kg\ m^{-3}$ ، ولكن هناك وحدة أخرى تستخدم بشكل أكثر انتشاراً تسمى ($mg\ m^{-3}$) وهي تمثل، عددياً، ما يستخدم في نظام (cgs) القديم الذي يستخدم وحدة كثافة الماء. وتتراوح كثافة صخور القشرة الأرضية بين ٢ و٢,٩ ($mg\ m^{-3}$). وقد أقرت قديماً في أيام الأعمال المساحية للجاذبية الأولى، قيمة الكثافة ٢,٦٧ ($mg\ m^{-3}$) كقيمة قياسية لكثافة الجزء الأعلى من القشرة الأرضية، ولازالت تستخدم هذه القيمة في إعداد النماذج الجاذبية وكذلك في حساب "تصحيحات الارتفاع" في "خرائط الجاذبية القياسية" (Standardized gravity maps).

(٢,٢) أجهزة قياس الجاذبية
Gravity Meters

على مدى الخمسين عام الماضية كانت قياسات الجاذبية تجرى في الأعم والأغلب باستخدام أجهزة مزودة بأنظمة "الزنبرك" (spring) "غير الساكنة" (astatic)، ويبدو أن هذه الأجهزة ستظل على حالها في المستقبل المنظور. ونظراً للحقيقة القائلة بأن هذه الأجهزة لا تقيس قوة مجال الجاذبية مباشرة (بطريقة مطلقة) ولكنها تقيس الفرق النسبي في الجاذبية، فإن الأعمال المساحية الجاذبية تعتبر معقدة إلى حد ما. ويمثل الجدول رقم(٢,١) قيم الكثافة لبعض أنواع الصخور والمعادن والخامات الشائعة.

(٢,٢,١) أنظمة الزنبرك غير الساكنة Astatic Spring Systems

تستخدم الأنظمة غير الساكنة زنبركات (springs) رئيسية معدومة الاستطالة، والتي يتناسب فيها قوة الشد مع الطول الحقيقي للزنبرك. ويوضح الشكل رقم (٢,٢) رسم تخطيطي لهذا النظام الذي يقوم فيه الزنبرك بدعم ذراع الميزان عند قراءة قيمة معينة لمجال الجاذبية عند أي موضع. ويمكن في مجالات الجاذبية الأكثر قوة استخدام زنبرك مساعد إضافي أكثر ضعفاً ليتحمل الزيادة في الوزن الذي يكافئ الكتلة الكلية الناتجة وكذلك الزيادة في مجال الجاذبية.

ولن يستخدم أي من أجهزة القياس التي سيرد وصفها فيما بعد (والموضحة في الشكل رقم٢,٣) نظاماً يشبه بدقته النموذج الموضح في الشكل رقم (٢,٢). وتطبيقاً على هذه الملحوظة فإن جهازي "وردن" (Worden)، "سودين" (Sodin) يزودان بزنبركين مساعدين ملتصقين بأذرع الميزان، وذلك ضمن تصميم هندسي معقد، بينما في الجهاز الآخر والذي يسمى "سينتركس" (Scintrex) (CG-5) & (CG-3) تتوفر قوة "إعادة التخزين" (restoring) بطريقة "الكتروستاتيكية" (electrostatic). ولا يوجد أي زنبركات مساعدة في جهاز القياس لاكوست (La Coste)، ويتم فيه القياسات عن طريق ضبط نقطة التحمل الخاصة بالزنبرك الرئيسي.

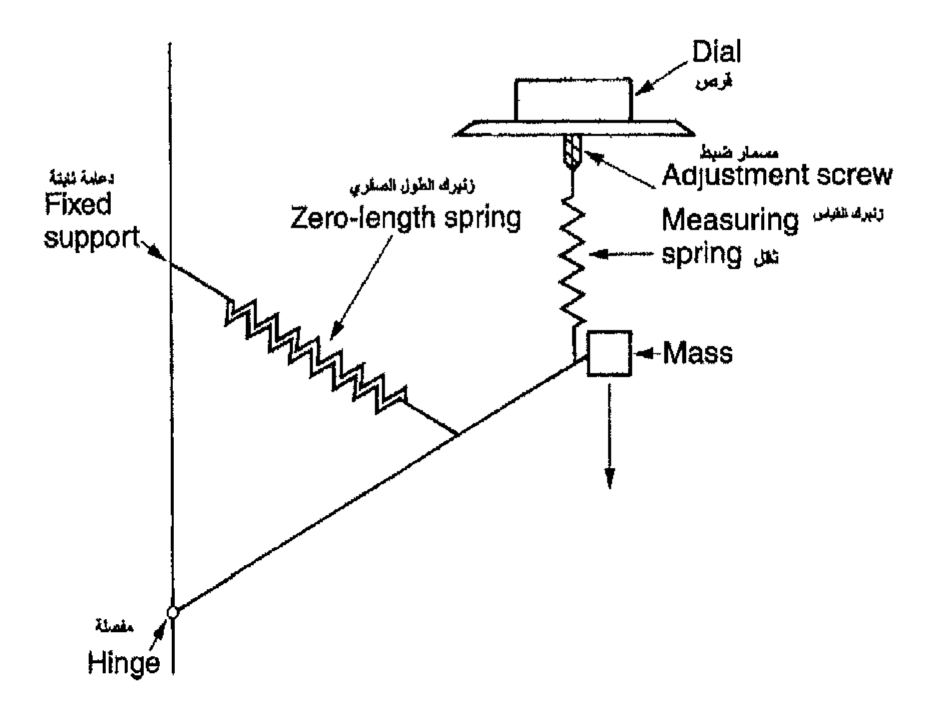
الجدول رقم(٢,١). يوضح كثافات الصخور والمعادن والخامات الشائعة مقدره بـ ($Mg\ m^{-3}$)

الصخور الشائعة	الكثافة
الرمل الجاف	١,٤ – ١,٦٥
سربنتين	٢,٥ – ٢,٦
الرمل المبلل	١,٩٥ – ٢,٠٥
النيس	٢,٦٥ – ٢,٧٥
الفحم	١,٢ – ١,٥
الجرانيت	٢,٥ – ٢,٧
الطباشير	١,٩ – ٢,١
الدولوريت	٢,٥ – ٣,١
الملح	٢,١ – ٢,٤
البازلت	٢,٧ – ٣,١
الحجر الجيرى	٢,٦ – ٢,٧
الجابرو	٢,٧ – ٣,٣
الكورتزيت	٢,٦ – ٢,٧
البريدوتيت	٣,١ – ٣,٤
السفاليت	٣,٨ – ٤,٢
الجالينا	٧,٣ – ٧,٧
الكالكوبيرت	٤,١ – ٤,٣
الكروميت	٤,٥ – ٤,٨
البيروهوتيت	٤,٤ – ٤,٧
الهيماتيت	٥,٠ – ٥,٢
البيريت	٤,٩ – ٥,٢
المجانتيت	٥,١ – ٥,٣

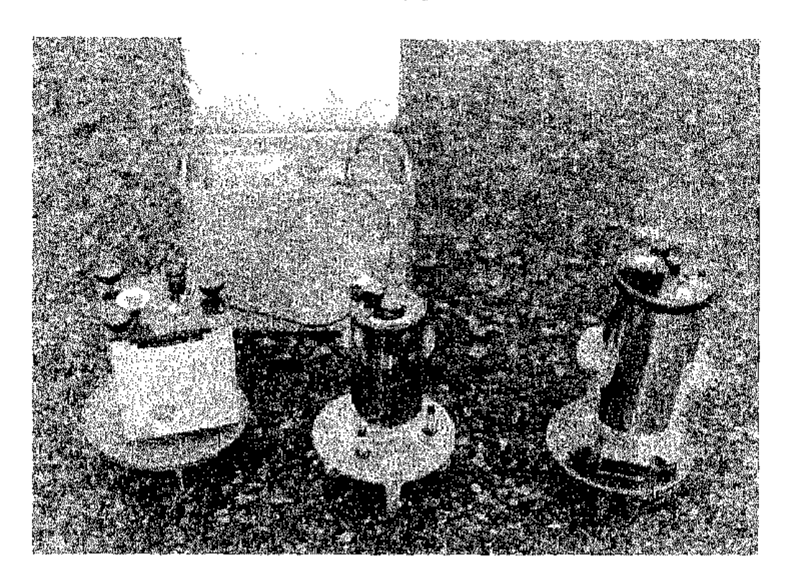
نظراً لكون أنظمة الزنبرك أنظمة ميكانيكية فإنها تتعرض إلى الانحراف (Draft)، ويرجع هذا الانحراف إلى عدة عوامل. فمثلاً يرجع الانحراف قصير المدى بصفة عامة

إلى التغيرات في درجات الحرارة والتي تؤثر في ثوابت المرونة للزنبركات على الرغم من شمولها عادة على أجهزة تعويضية.

وهناك أيضاً "الانزلاق التباعدي" طويل الأمد للزنبركات الذي يحدث نتيجة الإجهاد المستمر. ولذلك أصبحت إعادة تكرار القراءة على تلك الأجهزة ضرورة لرصد الانحراف في المحطات الأساسية وأيضاً لإتاحة الفرصة لحساب نسبة الأخطاء الضرورية.



الشكل رقم (٢،٢). يوضح رسم تخطيطي للنظام الزنبركي غير الساكن (المتحرك). وتجرى القياسات عن طريق إدارة القرص، الذي يعمل على رفع أو خفض زنبرك القياس لإعادة "الثقل" إلى الوضع القياسي. يتناسب الشد في الطول الصفري للزنبرك مع طوله.



الشكل رقم (٣,٢). يوضح صورة لأجهزة يدوية متنوعة من أجهزة قياس الجاذبية. هم من اليسار إلى اليمين: جهاز "لاكوست" (الجيوديسى)، وجهاز "وردن" (الطلابي) وأخيراً جهاز "سودين".

على الرغم من أن أجهزة الجاذبية ظلت بدون تغير على مدى خمسين عاماً إلا أن العشرة أعوام الأخيرة قد شهدت تحركاً في اتجاه القراءات الأوتوماتيكية مما قلل الحاجة إلى مشغلين مهره لتشغيل تلك الأجهزة الحديثة.

وقد زودت أجهزة لاكوست (La coste G&D) بعدادات الكترونية، بينما زودت أجهزة "سينتركس" (Scintrex CG -3) بمؤشرات أوتوماتيكية (ذاتية الحركة) تقوم على تصحيح الانحراف والقراءة. وقد أعيد تصميم جهاز "لاكوست" (La coste) الأصلي، حيث أستكمل كجهاز أوتوماتيكي كامل وأنتج تحت مسمى جهاز "جرافيتون" (Graviton--EG).

يقوم هذا الجهاز المعدل ليس فقط بتصحيح التسوية (leveling correction) ولكن أيضاً يقوم أيضاً بالتعديل الذاتي الكامل ليعطي قراءات حقيقية مصححة. وكان حتمياً

أيضاً إضافة جهاز "مسجل معلومات" (data logger) يمكنه نقل المعلومات المقاسة وتخزينها مباشرة إلى جهاز كمبيوتر شخصي محمول (Laptop PC).

وقد أصبحت أجهزة "جرافيتون" Graviton-EG) EG)، (CG-3) وكذلك نسخته المعدلة التي تسمى "أتوجراف"(GG – 5 Autograv)، أصبحت هذه الأجهزة قوية البنية بمستوى كاف لنقلها واستخدامها في الأعمال الحقلية بدون "أغطية خارجية" (protective cases) إضافية لحمايتها. ومع ذلك، فبالرغم من مميزات النماذج الحديثة لأجهزة قياس الجاذبية وطول عمرها (وإلى حد ما ارتفاع سعرها) إلا أنه من المؤكد والمرجو أن تشهد الأعوام القادمة أجهزة أقل تعقيداً. والعناوين التالية ستناقش كل ما يتعلق بالأجهزة التقليدية القديمة (وليست الأجهزة المعدلة التي ذكرت أخيراً).

(٢,٢,٢) أجهزة القياس "كوارتز" غير الساكنة Quartz a Static Meters

زودت أجهزة القياس "وردين" (Worden)، وسودين (Sodin)، و"سينتركس" (Scintrex) بزنبركات مصنوعة من مادة الكوارتز المدمج داخل تجويفات مفرغة توفر درجة عالية من العزل الحراري. وبعض هذه الأجهزة مزود بترموستات كهربي، وكذلك مزودة بما يقتضيه الأمر من بطاريات ثقيلة.

أما جهاز القياس "سينتركس" (Scintrex) فهو مزود بمقياس حساس للحرارة يعمل على تصحيح الانحراف الحادث من اختلاف الحرارة وذلك باستخدام برنامج كمبيوتر (software). وتتميز الأجهزة ذات التجاويف المفرغة بأنها حساسة للضغط، ذلك الضغط الذي كان يؤثر على الأجهزة القديمة بمقدار لا يقل عن وحدتين جاذبية لكل تغير في الارتفاع مقداره كيلومتر واحد، على الرغم من أن ذلك كان يختزل بالعامل ٤ أو ٥.

ولا يمكن لأي من أجهزة القياس "كوارتز" أن تقوى على الثبوت لدرجة أن أنظمة الزنبركات قد تتعرض جميعاً للعطب إلى حد ما لتأثرها السريع بعملية النقل.

وإذا تعرض الجهاز في بعض الأحيان إلى مجال تثاقلي جانبي حاد أو حتى مال برفق حتى درجة تزيد عن ٤٥ درجة، فإن الزنبركات قد تصبح متشابكة (tangled)، ويستلزم ذلك إعادة هذه الأجهزة للمصنع لإصلاحها وفك هذا التشابك (unknotting).

ولأجهزة الكوارتز "وردن"، و"سودين" مدى محدود على مقياس القراءة المباشرة، حيث تتراوح بصفة عامة، بين ٥٠٠، ٢٠٠٠ ملي جال، وبالتالي يجب إعادة تجهيزها في حالة وصولها لهذا المدى. ويمكن إعادة التجهيز لبعض الأجهزة باستخدام قرص مدرج ثانوي قد تمت معايرته للحد الأدنى من الدقة، بينما يستخدم مسمار ضبط عدم المعايرة في أجهزة أخرى. ودائماً ما ينصح بترك الأجهزة عدة ساعات بعد إعادة تجهيزيها (معايرتها وضبطها) لضمان ثبوت أنظمة الزنبركات. وتحتاج الأعمال المساحية في المناطق ذات التغيرات الشديدة في الارتفاعات إلى تخطيط جيد حتى يمكن تحقيق هذا الثبوت.

ويتم تثبيت "موازين التسوية الفقاعية" (level bubbles) في جهاز "سودين" في مكان عميق بالجهاز وذلك لحماية هذه الموازين من أشعة الشمس المباشرة، التي يمكن أن تسبب كما هو الحال في أجهزة أخرى، أخطاء تسوية (leveling) ترجع إلى عدم انتظام التسخين في سوائل الفقاعات وبالتالي تحتاج هذه الموازين العميقة إلى إظهارها حيث أنه من السهل متابعة القراءات أثناء عملية المسح بعكس الحالة التي في الموازين السطحية (التي يتم تركيبها على سطح الجهاز).

ويبدو أنه يمكن أخذ عدد أكثر من القراءات عند استخدام موازين التسوية الخاصة بجهاز "سودين" عنها من تلك الخاصة بالأجهزة الأخرى. ويمكن أن تؤخذ القراءات في جميع أجهزة القياس "كوارتز" اليدوية بواسطة ملاحظين ذو خبرة وضمير حي للوصول إلى دقة قراءة نظرية تصل إلى عشر وحدة جاذبية.

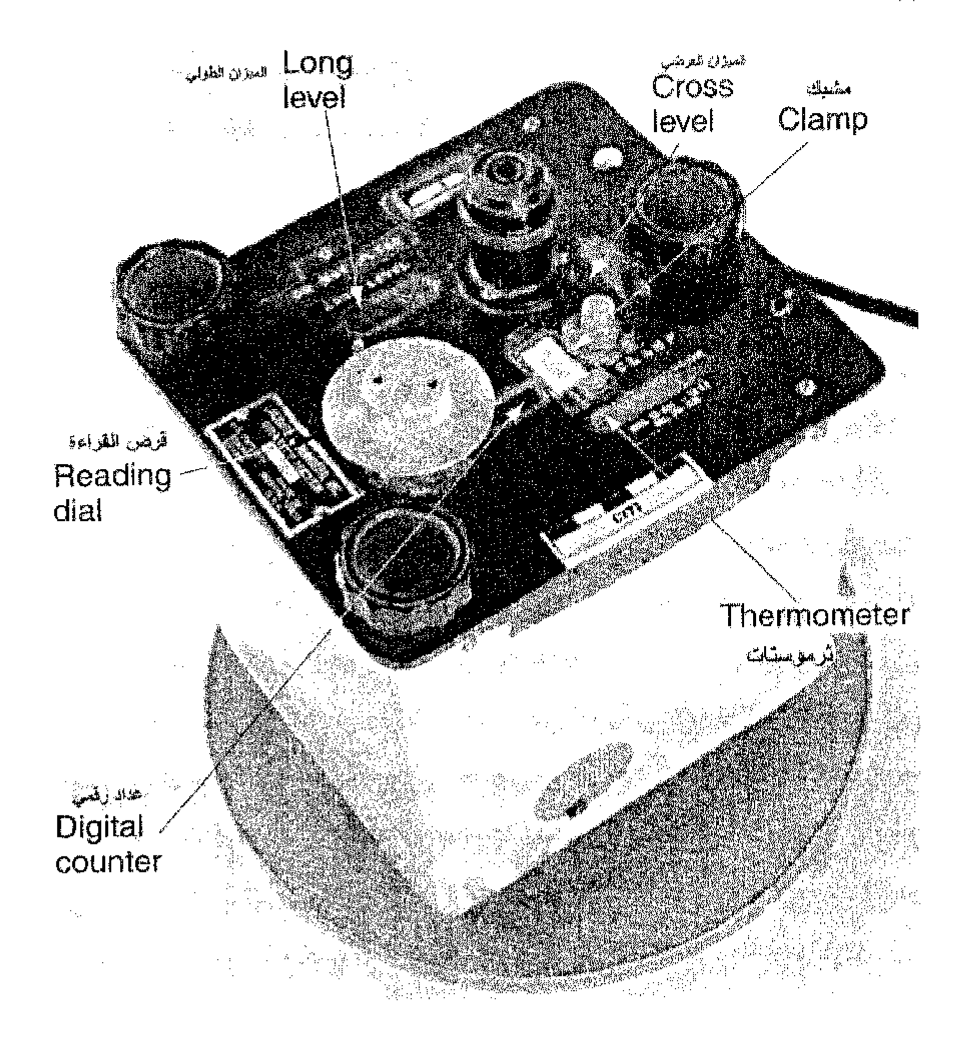
(٢,٢,٣) أجهزة القياس الصلبة غير الساكنة Steel a Static Meters

تستخدم الزنبركات الصلبة في أجهزة "لاكوست" (La Coste) (الشكل رقم ٢,٤). ولأن مادة الصلب جيدة التوصيل للحرارة فإنه لا يمكن عزلها حرارياً وعلى ذلك فإنه من الضروري استخدام ترموستات لضبط الحرارة. ويصل وزن الجهاز إلى حوالي ٥ كجم ويزيد هذا الوزن للضعف عند استخدام بطاريات يعاد شحنها، وهي ضرورية لتشغيل الترموستات.

ويحتاج الأمر إلى بعض أشكال الشحن أثناء العمل الحقلي حيث تستهلك شحنة "الشاحن" الواحد سريعاً وهذا يعتمد على الوضع الحراري للترموستات ودرجة الحرارة الخارجية، وقد يحتاج التشغيل إلى شحنه واحدة يومياً أو كل يومين. ترتفع درجة انحراف الجهاز إلى درجة عالية وذلك بعد الوصول إلى درجة حرارة التشغيل بساعتين أو ثلاثة، وعندها يتوقف الجهاز ولا يمكن استخدامه.

وبعد ذلك تنخفض درجة الانحراف، حتى أنه يمكن الاستمرار في ذلك بصورة خطية خلال فترات زمنية يتم خلالها تخفيض درجة حرارة الجهاز حتى تنعدم. ومع هذا، يمكن أن تحدث "إسقاطات" (tares) ربما تصل إلى عدة ملي جالات (u.g.). وهذه هي الانحرافات الرئيسية في أجهزة "لاكوست"، وإذا تكررت هذه الانحرافات أكثر من مرة تقريباً في الشهر فإنه يجب مراجعة صيانة الجهاز في المصنع (بواسطة المصنعين).

يمكن لجهاز "لاكوست" أن يصمد أمام أي صدمة لا تؤدي إلى تشقق الغطاء الخارجي وذلك في حالة تثبيت الزنبركات. "الزنبركات المثبتة" أقل تأثراً بالذبذبات، وتصبح الأنظمة الضوئية أكثر وضوحاً من تلك الأنظمة في معظم الأجهزة الكوارتزية الأخرى. حتى أن الملاحظين قليلي الخبرة يمكنهم أن يحققوا دقة قد تصل إلى 0.1 g.u بسهولة نسبية، وخصوصاً إذا تمت المساعدة باستخدام "الإبرة التكرارية الإلكترونية" (electronic repeater needle)، (إلا أن هذا النمط من الأجهزة مكلف).



الشكل رقم (٤,٢). يوضح صورة لجهاز "لاكوست" وعناصر ضبطه وإعداده للقياس. لاحظ: الميزانين الفقاعيين عموديين على بعضهما، والملزم – المثبت وقرص القياس الألمنيومي. لاحظ العداد الرقمي خلف نافذة زجاجية موضوعة بين كل من "الملزم" والقرص. ويظهر مقياس الحرارة خلال نافذة زجاجية في مقابل "الملزم"، ويقوم هذه المقياس برصد درجات الحرارة الداخلية ويجب أن يقوم المقياس الحراري باظهار حرارة ما قبل التشغيل إذا كان الجهاز مستخدم.

ومن المميزات الرئيسية لجهاز "لاكوست" (G) "الجيوديسى" (geodetic) التي يتميز بها عن الأجهزة الأخرى مثل جهاز "وردن"، وجهاز "سودين" الكوارتزية، أن به مسمار انفرادي للقياس الطويل المستمر (single long measuring screw). يمكن عن طريق هذا المسمار أخذ قراءات لها مرجعية عالمية، بدون إعادة تجهيز وضبط الجهاز (ويستغنى جهاز "D" المستخدم في الأعمال المساحية الجاذبية الدقيقة بهذه الميزة في سبيل الاهتمام بالحصول على قراءات أكثر دقة). تختلف عوامل المعايرة قليلاً عن المعدل، ويمكن جدولتها بفارق ١٠٠٠ ملي جال. وهكذا يتميز جهاز القياس (G) عن مثيله من الأجهزة الكوارتزية الأخرى ولكن بتكلفة تصل إلى الضعف.

(٤,٢,٢) ضبط وتجهيز جهاز قياس الجاذبية Setting Up a Gravity Meter

ترتكز أجهزة قياس الجاذبية عادة على "أطباق مقعرة" (Concave dishes) التي بدورها ترتكز على ثلاثة "أعقاب" (stubs) قصيرة يمكن أن ترفق بهم ساق أطول نسبياً، بمثابة دعامة رابعة. وعادة ما تستخدم هذه "الأعقاب" (القواعد القصيرة) بمفردها، حيث تغرس جيداً في الأرض على مسافة ليست عميقة. ويجب ألا يلمس السطح السفلي للطبق سطح الأرض وبذلك يسمح طرف الدعامة الرابعة بالاهتزاز الخلفي والصاعد (rocking back and forth).

ويفضل بل يجب إزالة الحشائش السميكة من تحت "الطبق" قبل أن يكون هناك إمكانية لأخذ القراءة. ويمكن استخدام ساق الامتداد ولكن في هذه الحالة ستطول فترة القراءات، ويجب جعل الطبق نفسه "مستوى" (leveled) (بعض الأطباق مدمج معها ميزان فقاعي خاص تسمى "فقاعة عين الثور" (bull's – eye bubble) ، ويجب كذلك قياس الارتفاع عن مستوى سطح الأرض.

ويرتكز الجهاز نفسه على ثلاثة مسامير قدمية حلزونية مسننة يمكن التحكم فيها، حيث يصبح الجهاز في المستوى الأفقي باستخدام ميزاني تسوية أفقين، أحدهما

عرضي والآخر طولي (الشكل رقم ٢،٤)، وذلك بالتحريك المبدئي للطبق حتى يتم تعويم كل من تمركز فقاعتي الميزانين. وللتعجيل من الانتهاء من هذه المرحلة الابتدائية يجب تثبيت المسامير القدمية للجهاز فوراً.

وعادة ما يوضع أحد الميزانين (وهو غالباً ما يكون الميزان العرضي الممتد في مستوى عمودي على مستوى حركة ذراع الميزان) موازياً للخط الوهمي الذي يصل بين أي مسمارين قدميتين، حيث يؤثر ضبط المسمار الثالث في مستوى هذا الميزان، وتعتبر أسرع طريقة للتسوية هي جعل "فقاعة الميزان العرضي" (cross-level bubble) في المركز، وذلك باستخدام أحد مسماري القدم أو كليهما لضبط هذا الميزان.

وعندئذ يستخدم المسمار الثالث لتسوية "الميزان الطولي" (long-level). ويمكن لبعض الأجهزة أن تدور أو تنزلق داخل "أغلفتها" (casings) مما قد يسبب فقداً لاتزان "ميزانها الفقاعي" وكذلك لاتزان "أقدامها"، ولكن عند إصلاح هذا "الانزلاق" (slippage) يمكن أن تتم التسوية بغاية السهولة. وعادة ما يستخدم الملاحظين المحترفين مسماري الضبط في نفس الوقت ولكن هذا لا يتأتى إلا بعد ممارسة عملية طويلة.

ويمكن أخذ قراءة الجهاز بمجرد ضبطه وتسويته. ويمكن القيام بذلك في معظم أجهزة قياس الجاذبية عن طريق تدوير قرص معاير وذلك لاستحضار مؤشر متصل بنظام الزنبركات، إلى نقطة ثابتة على مقياس مدرج. ويجب أخذ كل القراءات أثناء الفترة التشغيلية الواحدة عن طريق نفس الشخص وذلك لأن أخذ القراءات يعتمد على نظرة الشخص الخاصة للمؤشر من خلال عدسة عينية. وعندئذ، تحذف العناصر الشخصية عندما تطرح القراءة الأساسية. وعملياً تصبح القراءات الشخصية مختزلة جداً عندما يكون الجهاز مزود بالخاصية التكرارية الالكترونية.

ولابد من مراجعة وضع تمركز فقاعات الموازين أثناء ضبط القرص المدرج، وخاصة بعد أخذ القراءات التي من المفترض أن تكون صحيحة ومقنعة، مباشرة. قد

يحدث هبوط بطيء لسطح الأرض عند موضع أقدام "الملاحظ" الذي يقوم بالعمل، تحت تأثير وزنه، مما يؤدي إلى تغير في تسوية الجهاز. ولذلك يجب ملاحظة اتزان الجهاز بصورة مستمرة وإعادة ضبطه كلما لزم الأمر. ومن الأحداث التي تستدعي ذلك أيضاً غوص الجهاز لأسفل عندما ينصهر الجليد عند مواضع أقدام طبق الجهاز. ويمكن تجنب ذلك الهبوط بوضع الجهاز فوق قطعة خشب رقيقة.

تعاني جميع أنظمة قياس الجاذبية الميكانيكية من حالة الاسترخاء أو "الترهل" (whiplash)، ويمكن إدراك هذه الحالة من ظهور الاختلاف بين قراءتين مأخوذتين خلال ثواني من بعضهما، ويظهر ذلك أيضاً عند ضبط الجهاز نهائياً بإدارة قرص القراءة عكسياً. والعلاج الوحيد هو الثبوت الكلي في اتجاه الضبط النهائي للجهاز.

وقد تعمل الزلازل على تأرجح المؤشر ببطء من جانب إلى جانب قاطعاً مجال المنطقة، ولذلك يجب إيقاف أعمال المسح الجاذبي حتى الانتهاء من هذه الاضطرابات وعدم الاستقرار الزلزالي. ومن حسن الحظ أن هذا التأثير نادراً ما يحدث في معظم أجزاء العالم، على الرغم من أن الزلازل القوية قد تؤثر على أجهزة قياس الجاذبية من على بعد يصل إلى أكثر من 10000كم.

ويمكن أن تؤدي الذبذبات العنيفة المستمرة إلى صعوبة أخذ القراءة أو تزحزحها عن موضعها الصحيح. ومن أمثلة مصادر هذه الذبذبات سير الآلات الميكانيكية بجوار منطقة الأعمال المساحية أو اهتزاز الأشجار العنيف بفعل العواصف وغيرها.

(٢,٢,٥) مراجعة ضبط الأجهزة Meter Checks

يجب القيام بسلسلة من الفحوصات والمراجعات كل يوم قبل القيام بالمسح الروتيني في هذا اليوم. ويجب أولاً "هز الجهاز" (shaken down)، وذلك بالنقر الخفيف على "الطبق" بواسطة قلم رصاص بين كل قراءة وأخرى حتى يتم تسجيل قيمة ثابتة للقراءة. ويمكن أيضاً استخدام هذه الطريقة عندما "يركن" (sticks) مؤشر الجهاز على جانب واحد من التدرج (وهذا قد يحدث أحياناً).

يجب مراجعة نظام التسوية للجهاز عند ظهور أى عطل أو ملحوظة ميكانيكية.
ولأن الأنظمة الاهتزازية "غير الساكنة" (astatic systems) غير متماثلة فإن تأثير خطأ التسوية يعتمد على اتجاه "الانحراف" (tilt). ولإيضاح أهمية ذلك فإنه يذكر أن خطأ بسيطاً في التسوية على الزاوية العمودية على ذراع الميزان، يعطي قراءة لمجال الجاذبية مضروباً في "جيب تمام جتا زاوية الانحراف"(Cosine of the tilt angle) (حيث يصل الخطأ إلى .0.15 g.u ناتج من انحراف قدره °0.01). وإذا كان الانحراف في مستوى الحركة فإن "حساسية القراءة" (reading sensitivity) تتأثر أيضاً. والمقصود هنا "بحساسية القراءة" هو حركة المؤشر لكل دورة من دورات "القرص" (dial).

ستعمل "عدم التسوية" (off –leveling) للميزان العرضي الصحيح على اختزال القراءة، وذلك بغض النظر عن الاتجاه التعويضي (direction of offset) ولمراجعة ذلك، فإنه يجب إعادة تجهيز الجهاز، وأخذ قراءة عادية، كما يجب عندئذ تعويض "الميزان العرضي" بنفس القدر في كلا الاتجاهين. ويجب تحريك المؤشر نفس المسافة تقريباً في نفس الاتجاه في كل حالة. وتعتبر أجهزة القياس جاهزة للاستخدام بشرط أن تكون الحركة على الأقل في نفس الاتجاه وإذا لم يحدث ذلك فإنه يجب ضبط موازين التسوية.

يؤثر "الميزان الطولي" (long level) على "حساسية القراءة" (reading sensitivity). ويحتوي "كتيب المصنع" (manufacturer's handbook) على التوصيات الخاصة بالحساسية والتعليمات الخاصة بكيفية إعادة تجهيز الجهاز. ويمكن تقدير درجة الحساسية الفعلية عن طريق تحريك القرص بمقدار معين وملاحظة الحركة المقابلة للمؤشر. وغالباً ما تأخذ الموازين بضعة أيام حتى تستقر في وضعها الجديد، وخلال تلك الفترة يجب إعادة فحص الموازين بعناية خاصة.

(٦,٢,٢) معايرة الجهاز Meter Calibration

عادة ما تكون القراءات المأخوذة من الأجهزة غير الأوتوماتيكية (non – automatic) مكونة من قيم القراءة المأخوذة من قرص القياس والأرقام المبينة

على العداد الميكانيكي. وتصل درجة حساسية معظم الأجهزة التي يمثلها الرقم النهائي والمسجل على قرص القياس إلى (0.1 g.u.) تقريباً.

ولكل جهاز "عوامل معايرة" (calibration factors) خاصة به يمكن باستخدامها تحويل القراءات المقاسة عليه إلى وحدات تثاقلية. وعادة ما يذكر المصنع هذه العوامل بوحدة الملي جال (milligals) وليست بوحدة .g.u، لكل جزء من أقسام المقياس. ولا تتأثر هذه العوامل بالتغيرات في "حساسية القراءة" ولكنها يمكن تتبدل ببطء مع الزمن، مما يستلزم مراجعتها بانتظام.

ويمكن مراجعة ذلك مع"المصنع" أو باستخدام "نطاق معايرة" له قدر معروف من الجاذبية. وعادة ما يتضمن "نطاق المعايرة" (calibration range) تغيرات جاذبية تصل إلى حوالي (50 g.u.)، وهي تدخل حتى ضمن نطاق أكثر الأجهزة محدودية، ودائماً ما تستخدم في المواقع التي تتغير فيها قيم الجاذبية مع اختلاف الارتفاعات. تغير الارتفاع بمقدار حوالي ٢٥٠متراً ضرورياً بصفة عامة، على الرغم من أنه في بعض الحالات يلعب التدرج المحلي للجاذبية دوراً له شأنه.

ويجب أن تقل الفترة الزمنية التي تستغرقها الرحلة من محطة القمة إلى محطة القاعدة عن ١٥دقيقة، كما يجب أن تكون المحطتان مميزتين بعلامات واضحة وموضوعة جيداً. ويجب أن تتكون "سلسلة القياسات" (run) من أربعة نقاط متبادلة بنظام ABAB على الأقل (فقرة ١,٤,٢)، معطياً قيمتين تقديريتين وذلك لاختلاف الجاذبية (gravity difference).

يمكن إجراء مراجعة شاملة للأجهزة التي لها أداة ضبط مبدئي منفصلة عن أداة الضبط الدقيق، على أن تشمل هذه المراجعة مختلف قطاعات النطاقات الدقيقة وذلك بتغير بسيط في الوضع المبدئي للجهاز. وتحتاج أغلب الأجهزة إلى فترة زمنية قصيرة للاستقرار بعد الضبط المبدئي لها، ولكن إذا حدث ذلك فإنه من المحتمل أن يكون هناك إمكانية لتحديد عدم الانتظام البسيط في منحنى المعايرة.

ولا يمكن تطبيق ذلك في أجهزة "لاكوست – G" ، حيث إن جزءاً واحداً من المنحنى يمكن رصده لأي نطاق معايرة. ولأن هناك عدم انتظام ضئيل في درجة ميل مسامير الضبط ، فقد تعطي مختلف الأجهزة نتائج على نفس النطاق الذي قد تختلف بشكل ثابت بمقدار عشر ١٠/١ (g.u.).

(٢,٣) اختزال الجاذبية
Gravity Reductions

في الأعمال المساحية الجاذبية ، تنشأ تأثيرات كبيرة يمكن حسابها من مصادر ليس لها مدلول جيولوجي. وهذه التأثيرات يمكن التخلص منها عن طريق الاختزال الذي يتعلق بالحسابات التتابعية لرقم الكميات المحدودة. وفي كل حالة تعطى علامة الاختزال عكس علامة التأثير غير المرغوب فيه والناتج من مصادر غير جيولوجية ويجب التخلص منه.

(٢,٣,١) تصحيح دوائر العرض Latitude Correction

يتم تصحيح دوائر العرض عن طريق طرح الجاذبية العادية المحسوبة من الصيغة العالمية للجاذبية (International Gravity formula) من تلك المقاسة أو "المشاهدة" (observed) أو من الجاذبية المطلقة. ويتم التصحيح الخاص بدوائر العرض في مسح الجاذبية غير المقيد بنظام المرجعية المطلقة عن طريق اختيار قاعدة تحكمية (arbitrary base) وكذلك باستخدام "التدرج النظري" (Theoretical gradient) لاتجاه شمال – جنوب وقدره 8.12 sin2λ g.u./km.

(٢,٣,٢) تصحيح الهواء الحر Free Air Correction

ترجع القيمة الناتجة من طرح الجاذبية العادية (normal) من المشاهدة (observed) ، جزئياً إلى ارتفاع محطة قياس الجاذبية فوق مستوى سطح البحر. يدل زيادة

الارتفاع ضمنياً على زيادة في المسافة عن مركز كتلة الكرة الأرضية، مما يؤثر سلبياً على المحطات الموضوعة على مستوى فوق سطح البحر. وهكذا يصبح الهواء الحر إيجابي (positive) وللأغراض العملية فإنه يساوي(3.086 g.u.). ويطلق على قيمة الجاذبية بعد إجراء تصحيح دوائر العرض وكذلك إجراء "التصحيح الهواء الحر" (Free-air correction) مصطلح "شذوذ الهواء الحر" (Free-air anomaly) أو "جاذبية الهواء الحر" (Free-air gravity).

(٢,٣,٣) تصحيح بوجير Bouguer Correction

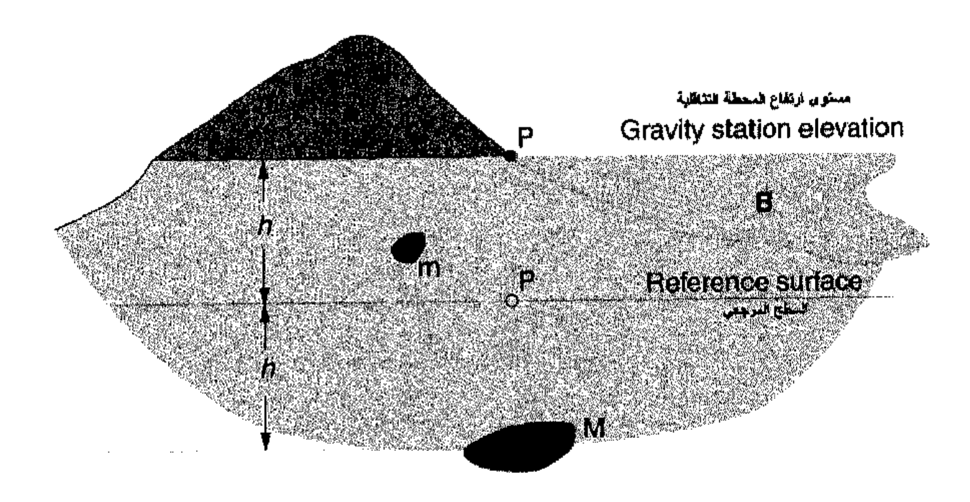
حيث إن الكتل الطبوغرافية (topographic masses) مختلفة التوزيع فإن هناك صعوبة في حساب تأثيرها بدقة وتصبح هناك ضرورة للتقريب. وأبسط معالجة لذلك أنه تمثل التضاريس "بلوح" منبسط وممتد إلى مالانهاية في كل الاتجاهات بكثافة ثابتة وسمك متجانس يكافئ ارتفاع محطة قياس الجاذبية عن مستوى مرجعي معين (مستوى سطح البحر مثلاً). ويسمى هذا اللوح "بلوح بوجير" (Bouguer plate) ويتولد عنه مجال تثاقلي يساوي($2\pi\ \rho\ Gh$) حيث تمثل h سمك اللوح، وتمثل(ρ) الكثافة وهي تساوي (1.111 g g.u./meter for the standard 2.76 Mg m-3 density).

وتأثير بوجير (Bouguer effect) إيجابي (positive) وعلى ذلك يصبح تصحيحه سالباً. وحيث أن تصحيح بوجير يكافئ فقط ثلث قيمة تصحيح الهواء المطلق (free-air correction)، فإن التأثير الصافي للزيادة في الارتفاع يكون مختزل في الحقل. "والتصحيح المدمج" (combined correction) يكون إيجابي ويكافئ حوالي (2 g.u.) لكل متر (ارتفاع)، وعلى ذلك فإنه يجب معرفة الارتفاعات حتى ٥سم، وذلك بغرض الاستخدام الكامل لحساسية الجهاز.

ولأن "تصحيح بوجير" يعتمد على "كثافة" و"ارتفاعات" افتراضية، فإنه يختلف عن تصحيح "الهواء المطلق"، ويمكن أن يؤدي دمج الاثنين في "تصحيح الارتفاعات

المشترك"(unified elevation correction) إلى التضليل وعدم الدقة. وفي بعض الأحيان يذكر أن "التصحيح المدمج" (combined correction) يختزل قيم التثاقل عن تلك القراءات المفترض الحصول عليها عند "المستوى المرجعي" (reference surface) بعد حذف جميع قيم التضاريس ؛ وهذا غير حقيقي.

في الشكل رقم (٢,٥) يتضح أن تأثير الكتلة (M) المسجلة عند نقطة المشاهدة (P) لا يتغير بهذه التصحيحات. وسيظل تأثير الكتلة التي على مسافة (2h) أسفل النقطة (P)، ليست عند النقطة (P′) ولكن على مسافة (h) أسفلها.



الشكل رقم (٢,٥). يوضح التصحيح الإقليمي وعلاقته بطبوجرافية المنطقة نسبة إلى مستوى سطح البحر. يجرى التصحيح لانحراف الطوبجرافيا عن مستوى مواز لسطح البحر ذاته، ودائماً ما يكون موجباً (أنظر المناقشة في متن الكتاب). وحتى بعد تطبيق تصحيحات البوجير والهواء المطلق، فستظهر تأثيرات الكتل (M)، (m) على الخرائط وكأنها قيست عند نقطة المحطة (P)، وليس كما ينبغي أن تقاس عند نقطة (P′) على السطح المرجعي.

وبصورة أوضح، لا يؤدي التصحيح إلى التخلص الغامض من تأثير الكتلة (m) الموضوعة فوق المستوى المرجعي، وذلك يرجع إلى أن "تصحيح بوجير" يفترض ثبوت (تجانس) الكثافة. وتعين قيمة "جاذبية بوجير" (Bouguer gravity) عند كل النقط التي يتم القياس عندها، وهذه حقيقة يجب أخذها في الاعتبار عند تفسير النتائج.

(٢,٣,٤) تصحيح التضاريس Terrain Corrections

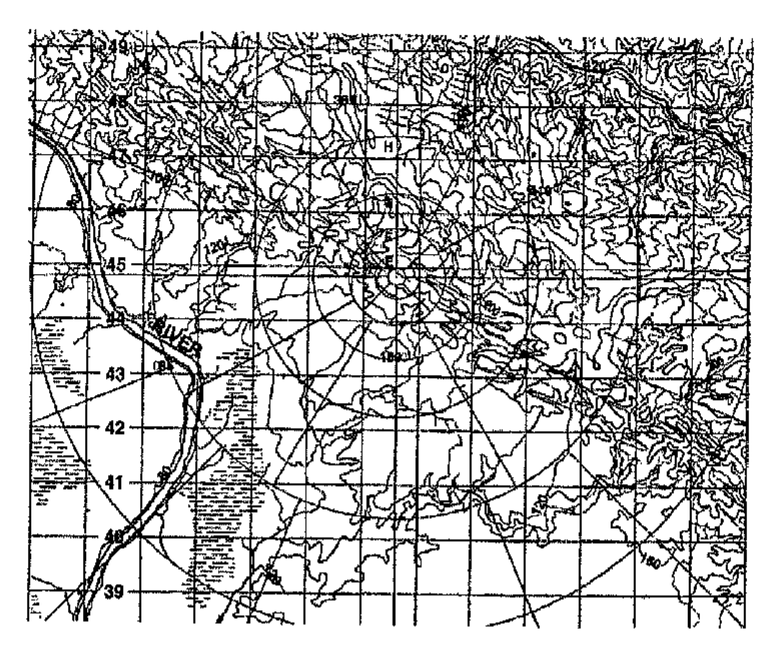
يجب إجراء تصحيح طوبغرافي تفصيلي في المناطق مرتفعة التضاريس. وعلى الرغم من أنه من الممكن إجراء التصحيح مباشرة لكامل التضاريس أعلى من المستوى المرجعي في خطة واحدة بدون إجراء تصحيح بوجير أولاً، إلا أنه من الأبسط حساب "جاذبية بوجير" وعندئذ، يتم تصحيح الانحراف عن "لوح بوجير".

تتلخص خصوصية طريقة فهم مرحلتي التصحيح في أن المرحة الثانية من التصحيح دائماً إيجابية. في الشكل رقم (٢,٥) تؤثر الكتلة الصخرية العليا (A) التي تقع أعلى محطة القياس الجاذبية على جهاز القياس بجهد شدي إلى أعلى، فيكون التأثير سالب بينما يكون التصحيح موجب.

ومن الناحية الأخرى يشغل الوادي (B) إقليم يفترض فيه أن "تصحيح بوجير" المتخم بالصخور يمكن أن يؤثر بجهد شدي تجاذبي إلى أسفل. وهذه الصخور ليست موجودة. ولذلك يجب أن يعوض "تصحيح المنطقة" (terrain correction) التصحيح الزائد باستخدام "لوح بوجير" وهو "موجب وذلك للمرة الثانية".

وقد يكون إجراء تصحيح المنطقة غاية في الصعوبة. ولإجراء هذا التصحيح بطريقة يدوية: تتمركز ورقة شفافة على خريطة طوبجرافية فوق موقع محطة القياس (الشكل رقم ٢,٦).

ويقدر الفرق بين متوسط الارتفاع في المنطقة وارتفاع المحطة في كل جزء مستقل. وعندئذ يمكن الحصول على التصحيح المطابق من جداول (انظر المرفقات).



الشكل رقم (٢,٦). يوضح خريطة طوبغرافية يشمل موقع محطة القياس. حيث يوقع ورقة شفافة "ورقة هامر" (من نطاقE إلى نطاق I) فوق خريطة طوبجرافية. ويمكن تقدير الصعوبات التي تنشأ من حساب متوسط الارتفاعات في الأجزاء الواسعة بسهولة. وهناك صعوبة في رؤية الحروف التي تميز النطاقات في هذا المثال ولكن ستكون واضحة عندما تنزع الورقة الشفافة من فوق الخريطة وتظهر بمفردها.

ويمكن للكمبيوتر أن يسهل هذه العملية ولكن يحتاج بيانات المنطقة في شكل رقمي، ومن الجائز أن هذا يحتاج وقت يساوي وقت التصحيح اليدوي. وذلك ما لم يتوافر بالفعل مسبقاً معلومات على هيئة نموذج رقمي للمنطقة (DTM). ينتج عن إضافة تصحيح المنطقة إلى "جاذبية بوجير" البسيطة، كمية جديدة غالباً ما تعرف "بجاذبية بوجير" الكاملة أو الممتدة (extended or complete Bouguer gravity). وتختلف أحياناً كثافة التضاريس مع جيولوجية المنطقة في محاولات لازالت جارية لتقليص دور لاعتماد على التصحيح الجاذبي للمنطقة.

(٢,٤) المسح الجاذبي
Gravity Surveys

على الرغم من أن المسح الجاذبي عملية بسيطة في الأساس إلا أنها نادراً ما تتم كاملة بدون مشاكل، فالأغلب أن يكون هناك مشاكل بل إنه في بعض الحالات تأتي النتائج في صورة يمكن أن توصف بأنها كارثية. وعادة تنشأ المشاكل من كون جهاز قياس الجاذبية يقيس فقط الاختلاف في مجال الجاذبية وأن القراءات يجب أن تقيد بربطها بنظام مرجعي معروف.

(٢,٤,١) مبادئ مسح الجاذبية Survey Principles

تتكون عمليات المسح الجاذبي من عدد من الحلقات التشغيلية (loops)، كل منها يبدأ وينتهي بقراءات على نفس نقطة الموقع والتي تسمى "قاعدة الانحراف" (فقرة ١,٤). وعادة ما يتحدد حجم العمل بكل حلقة حسب الاحتياج لعملية رصد الانحراف، وحسب وسيلة الانتقال المستعملة، علماً بأنه قد يستغرق العمل التفصيلي في كل أنشوطة ساعتين.

ويجب أن يتم العمل المساحي في واحدة على الأقل من محطات الشبكة المرجعية، على الأقل في كل أنشوطة، وستصبح العملية بسيطة عندما تكون هذه المحطة هي في نفس الوقت "قاعدة الانحراف" (drift base) لهذه الأنشوطة.

ومن المبادئ الأساسية أن يكون هناك إمكانية لإنشاء "شبكة محطات رئيسية أو أساسية" (base network) تدريجياً أثناء تقدم العمل، ولكن إذا تم العمل وانضبط مبكراً فإنه يمكن حساب القيم المطلقة للتثاقل ولازالت كل محطة حقلية قائمة في موقعها، وهذا يتيح المراجعة وتحديد الخطأ وتصحيحه في الحقل قبل مغادرة مواقع المحطات.

وهناك الكثير مما يمكن الحصول عليه من النظرة الشاملة المبكرة لعملية مسح المنطقة، أي الذي يمكن الحصول عليه بينما الشبكة لازالت قائمة في مواقعها، وهي

المميزات العملية لقواعد الإنشاء بعيداً عن الضغط الناشئ من التعظيم اليومي لما تم إنجازه من محطات جديدة وهذا ما يحدث دائماً في معظم الأعمال المساحية.

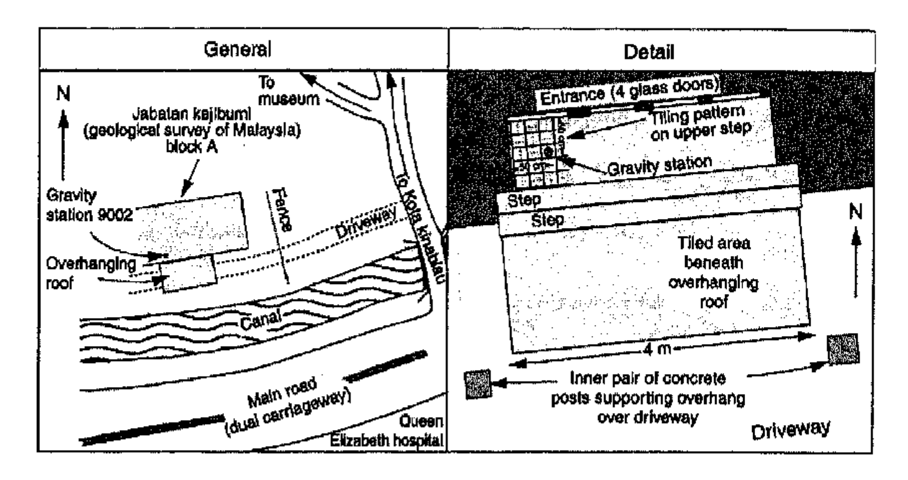
ويمكن أن تستخدم "قاعدة تحكمية" غير مرتبطة بنظام مطلق في عمليات مساحية صغيرة. ولكن تنشأ المشاكل فقط في حالة إجراء محاولة ربط نتائج هذا المسح (الصغير) بغيره أو إضافته لقاعدة بيانات قومية. ومن هذا يتبين أن استخدام موقع غاية في المحلية كمرجع بغرض التوفير الاقتصادي هو في الواقع توفيراً اقتصادياً زائفاً وغير واقعي.

(٢,٤,٢) محطات القاعدة Base Stations

تختلف المعايير المستخدمة في وضع وتجهيز المحطات الأساسية المرجعية عن تلك التي تستخدم في "المحطات العادية" (normal station). وذلك بشرط احتمالية حدوث دقة في إعادة شغل نفس مواقع المحطات وكذلك إمكانية التغاضي عن تأثير المناطق الواسعة. وهذا يجعل من غير المستحب استخدام قيم التماثل في الاستقراء الذي يكون فيه الارتفاع غير مطلوب.

ومن الجهة الأخرى، إذا كانت دقة المسح الشامل تعتمد على تكرار وإعادة القراءة في المحطات الأساسية فإن هذا يجعل البيئة المحيطة مستقرة، وكذلك يجعل سهولة الوصول إلى هذه المحطات أمراً هاماً. وقد تفسد ضوضاء المواصلات والذبذبات القوية الناشئة من حركة الأجسام بموقع المحطات، القراءات المأخوذة في تلك المحطات الأساسية (أو في المحطات الأخرى).

يجب أيضاً الاستعانة بالمبادئ العامة المذكورة في الفقرة رقم (١,٤) والذي يمكن تطبيقه على المحطات الأساسية الجاذبية وكذلك الاستعانة بالوصف في رسم برنامج تخطيطي يسمح بإعادة شغل مواقع المحطات بدقة وعلى نفس الارتفاعات وبدرجة دقة في كل موقع تصل إلى بضع سنتمترات (الشكل رقم ٢,٧).



الشكل رقم (٢,٧). يوضح رسم تخطيطي يوضح إعادة شغل مواقع المحطات الأساسية. ودائماً ما يحتاج الأمر إلى رسمين تخطيطين بمقياسين مختلفين، ويتم تزويدهما بوصف مختصر مكتوب، حتى نضمن أنه يمكن إعادة شغل المحطة الأساسية بسرعة وبدقة.

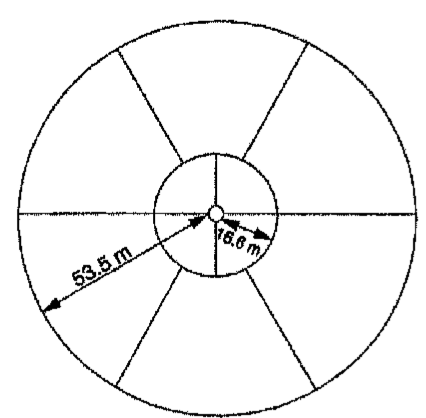
(٢,٤,٣) تحديد مواقع المحطات Station Positioning

يجب اختيار مواقع المحطات بعناية. وفيما عدا الأعمال المساحية التفصيلية التى تتطلب أن تكون مواقع المحطات على مسافات بينية ثابتة على خطوط القطاع "المقاطع" (traverses) فإن الملاحظين القائمين بالعمل لهم بعض الحرية في اختيار المواقع.

وعليهم أيضاً المسئولية في تقدير نسبة "التصحيح الإقليمي" (terrain correction) في مناطق العمل على مسافات تبعد حوالي خمسين مترا من نقطة القراءة حيث يصعب تمييز الهيئات التضاريسية الصغيرة على الخريطة الطوبغرافية التي يمكن استخدامها في أعمال قياسات الجاذبية.

ويمكن تقدير قيمة التصويبات الحقلية باستخدام "نموذج خاص مقسم" يسمى (truncated graticule) مثل ذلك الموضح في الشكل رقم (٢,٨)، الذي يعطي فقط "نطاقي الهامر" (hammer zones) (C)، (B) . ويمكن إهمال الفرق في الارتفاعات الذي

يقل عن ٣٠سم في النطاق (B) والتي تقل عن ١٣٠سم في النطاق (C) حيث أنها تولد تأثيرات تقل عن g.u. 0.01 لكل "جزء مستقل" (Compartment). ويمكن أيضاً استخدام الرسومات البيانية كيفياً (qualitatively)، لاختيار "نقاط القراءات" وذلك عندما تكون القيمة الكلية "للتصحيحات النطاقية" (terrain correction) صغيرة.



Area اسم المنطقة ....

Date التاريخ ....

Station اسم المحطة ....

Observer اسم الملاحظ ....

Note: Terrain should be flat in central zone A (radius 2 m)

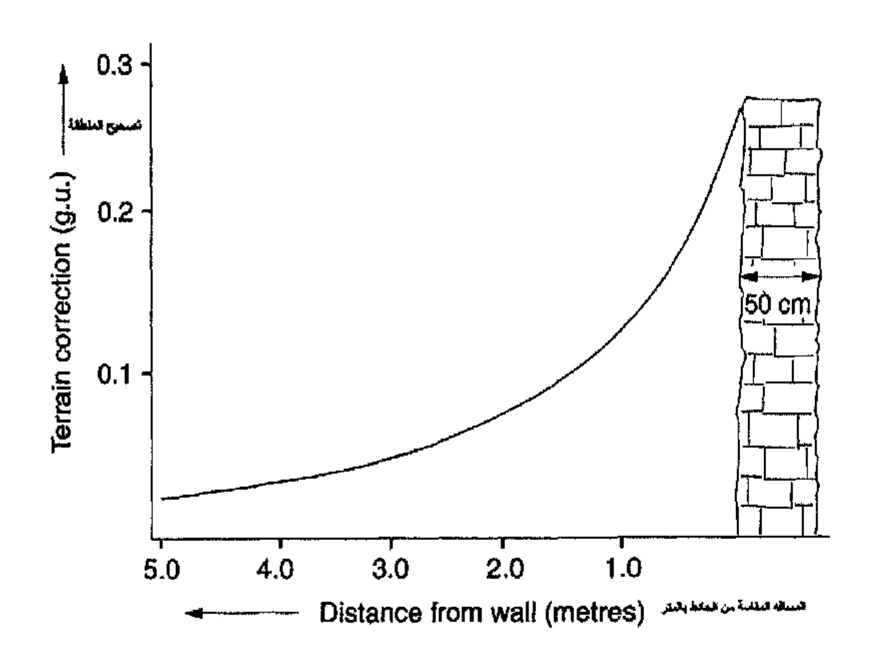
Zone B (2.0–16.6 m)	
Terrain correction (g.u.)	Height difference (metres)
0.01	0.3–0.6
0.02	0.6–0.8
0.03	0.8–0.9
0.04	0.9–1.0
0.05	1.0–1.1
0.1	1.1–2.1
0.2	2.1–2.7
0.3	2.7–3.6
0.4	3.6–4.3
0.5	4.3–4.9

Zone C (16.6–53.5 m)	
Terrain correction (g.u.)	Height difference (metres)
0.01	1.3–2.3
0.02	2.3–3.0
0.03	3.0–3.5
0.04	3.5–4.0
0.05	4.0–4.4
0.1	4.4–7.3
0.2	7.3–9.7
0.3	9.7–11.9
0.4	11.9–13.7
0.5	13.7–15.5

الشكل رقم (٢،٨). يوضح:"ورقة هامر" كما تظهر في الحقل لكل من نطاقي (B)، (C).

ويكون تأثير أداة النقل (سيارة) للمسح العادي محسوسة فقط إذا زحف أو دب "الملاحظ" تحتها مباشرة، ومن الملاحظ أن معظم المباني الحديثة تنتج نفس التأثير الضئيل. ولكن المباني القديمة ذات الحوائط السميكة تحتاج إلى تعامل أكثر حرصاً (الشكل رقم ٢.٩).

ويمكن للفراغات التحت سطحية وتكهفات التجوية الطبيعية والمناجم القائمة أن تحدث شذوذاً تثاقلياً يصل إلى العديد من وحدات (g.u.). ويمكن استخدام طريقة الجاذبية أحياناً في اكتشاف الفراغات والتكهفات التحت سطحية ولكن ليس هذا هو هدف أعمال قياسات الجاذبية، حيث أنه من الطبيعي والبديهي والمهم أن لا توضع أجهزة القياس في مواقع يشتبه أن تتواجد بها هذه التأثيرات.



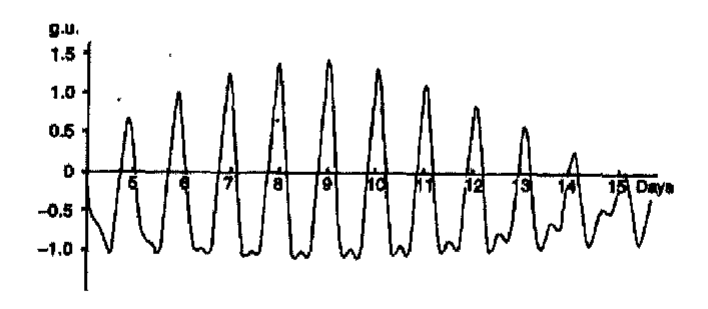
الشكل رقم (٢,٩). يوضح تأثير الجدار الحجري الذي يصل سمكه إلى نصف متر، على مجال الجاذبية.

(٢,٤,٤) تأثير المد والجزر Tidal Effects

قبل تقدير درجة انحراف الجهاز يجب تقدير تأثير المد والجزر في الكرة الأرضية. وترجع هذه التغيرات الخلفية إلى تغيرات في الوضع النسبي للكرة الأرضية والقمر والشمس وهي تتبع دورات متصلة مدة كل منها ١٢- ٢٤ ساعة للتراكم في دورة لها علاقة بالشهور القمرية (الشكل رقم ٢,١٠).

ويصل التذبذب الدوري للجاذبية مداه الأعظم عند اكتمال القمر الجديد. ويمكن أن يحدث تغيرات تثاقلية تصل إلى أكثر من (0.5 g.u.) في غضون ساعة، وقد تزيد التغيرات الكلية إلى أكثر من (2.5 g.u.). ويمكن أن تفقد خطية المنحنى المفترض الحصول عليه أثناء إجراء تصحيح الانحراف (drift correction) في حالة عدم التخلص من تأثيرات المد والجزر أولاً.

ويتوقع أن يسبب المد والجزر الأرضي تأثيراً يصل إلى 0.1 g.u. على الأقل وهو المستوى المطلوب لمسح الجاذبية، ويمكن حساب التصحيح باستخدام أحد برامج الكمبيوتر واسعة الانتشار والتي في متناول اليد. ويجب تحويل قراءات الجهاز إلى وحدات تثاقلية قبل تطبيق التصحيح.



الشكل رقم (٢,١٠). يوضح تغيرات المد والجذر في الفترة من ٥ إلى ١٥ يناير ١٩٨٦م.

(٢,٤,٥) تصحيح الانحراف Drift Correction

إن الافتراض بأن انحراف الجهاز ينتج علاقة خطية في الفترة المحصورة بين قراءتين أساسيتين، هو افتراض غير حقيقي (ومرفوض)؛ وذلك لأن هذا الانحراف يعتمد على درجة الحرارة الخارجية، وكذلك لحدوث ارتداد معظم التغيرات في درجات الحرارة كلياً أو جزئياً خلال تلك الفترة.

ومع ذلك فإنه من الصعب (في الأجهزة التقليدية) الاعتقاد بأي افتراض أخر، فيما عدا الأجهزة الحديثة مثل جهاز CG-5 حيث تسجل فيه درجة الحرارة الداخلية ثم يقوم الجهاز بتعادلها. ولإجراء التصحيح اليدوي للانحراف مستخدمين "الافتراض الخطي"(linear assumption) فإننا نتبع الخطوات الآتية:

تصحح القراءات أولاً من تأثير المد والجزر ثم تطرح القراءة الأولية المصححة في قاعدة الانحراف (drift base) بدورها من كل قراءة أخرى. وتعطى نتيجة هذا الإجراء على القراءة النهائية في قاعدة الانحراف قيمة الانحراف الكلي.

ويجب أن تحسب أو تقدر بيانياً التصحيحات المؤيدة لذلك في المحطات الأخرى لدرجة دقة نهائية تصل إلى (0.1 g.u.) وتزود "علامة التصحيح"(sign of the correction) بكل ما تحتاجه. بحيث أن كل القيم النسبية لقاعدة الانحراف (drift base) بعد التصحيح، يجب أن تساوى صفراً.

ويمكن الحصول على قيمة الجاذبية المقاسة المطلقة عن طريق إضافة القيمة المطلقة في قاعدة الانحراف إلى فروق الجاذبية (gravity differences) المصححة من الانحراف.

(٢,٤,٦) ضبط الارتفاع Elevation Control

يمكن أن تعين ارتفاعات نقاط مسح الجاذبية بطرق مختلفة كثيرة. فإذا كان مطلوب خريطة بقيم كنتورية مقدارها (1 g.u.) فإن الدقة العالية لتحديد الارتفاعات

تكون أساسية ويمكن الحصول عليها عن طريق استخدام تقنيات ضوئية، موجات راديو أو "الجهاز الرقمي لتحديد المواقع والارتفاعات باستخدام الأقمار الصناعية" (DGPS). أما إذا كان المطلوب خرائط بقيم كنتورية مقدراها (100 g.u. or 50 g.u.) في المسح الإقليمي فإن استخدام جهاز البارومتر (barametric) لقياس الارتفاعات أو قياس الارتفاع من مستوى سطح البحر أو جداول المد والجزر يصبح كافياً.

وغالباً ما يكون قياس الارتفاعات هو أكثر الأجزاء تكلفة في مسح الجاذبية، ولذلك يجب الاستفادة من ميزة تحديد "التسوية الحرة" (free leveling) التي قد تكون أجريت لأغراض أخرى مثل إجراءات المسح للخطوط السيزمية.

(٢,٤,٧) دفتر الحقل Field Notebook

يجب تسجيل الأرقام، والزمن والقراءات في كل موقع محطة. ويدمج جهاز "مسجل بيانات" (data logger) مع معظم الأجهزة الحديثة، ويمكن لهذا المسجل أن يقوم بهذه التسجيلات ولكن كل المعلومات الأخرى يجب أن تسجل في "دفتر الحقل" (Field notebook). ومن أمثلة هذه المعلومات، معلومات عن الموقع المحدد بجهاز (GPS) وبيانات الارتفاعات المستمدة من أجهزة البارومتر.

يجب أخذ ملاحظات وتدوينها في العمود الخاص بها، عن أي عوامل يمكن أن تؤثر في القراءات مثل: الاهتزازات العنيفة الناجمة عن حركة الآلات الثقيلة، وعن وسائل المواصلات، وعن حركة قطعان الماشية وحركة الأفراد وكذلك تلك الناجمة عن عدم استقرار الأرض أو عن احتمال تواجد فجوات أو كهوف تحت سطح الأرض. وقد يكون تدوين بعض التعليقات عن حالة الجو مفيداً أيضاً حتى ولو كان ذو دلالة فقط عن حالة الاهتمام الشخصي "للملاحظ" الذي يقوم بالعمل.

وحيث إن "التصحيحات الإقليمية" لها أهمية أحياناً فإن تقديرات هذه التصحيحات تدخل ضمن الملاحظات التي يجب أن تدون، ولكن قد يكون هناك حاجة

لتوافر كشوف التصحيحات لكل موقع محطة في المناطق الوعرة. ويمكن الاحتفاظ بأعمدة إضافية لتدوين تصحيحات المد والجزر وتصحيحات الانحراف، حيث يجب حساب الانحراف كل يوم، ولكن هذه التصحيحات لا تجري يدوياً في "دفتر الحقل"، ولكنها تجرى الآن عادة على جهاز الكمبيوتر الشخصي المحمول أو باستخدام حسابات مبرمجة.

في كل فترة عمل حلقات يجب أن يذكر في هوامش دفتر الحقل اسم الشخص الملاحظ أو الحروف الأولى من اسمه، والرقم المسلسل لجهاز قياس الجاذبية، و"عامل المعايرة"، ورقم المحطة الأساسية (Base station)، وقيمة الجاذبية. وأنه من المفيد أيضاً أن يسجل في كل ورقة الفرق في التوقيت بين الوقت المحلى والوقت العالمي (GMT)، حيث سيكون هناك حاجة إليه عند حساب تصحيحات المد والجزر (Tidal correction).

ومن المعروف أن الحصول على بيانات تثاقلية مكلف ولذلك فإنها تستحق التعامل معها بعناية واهتمام خاص. ويجب ملاحظة القواعد العامة المذكورة في الفقرة (١،٤،٢) بكل تمحيص و دقة.

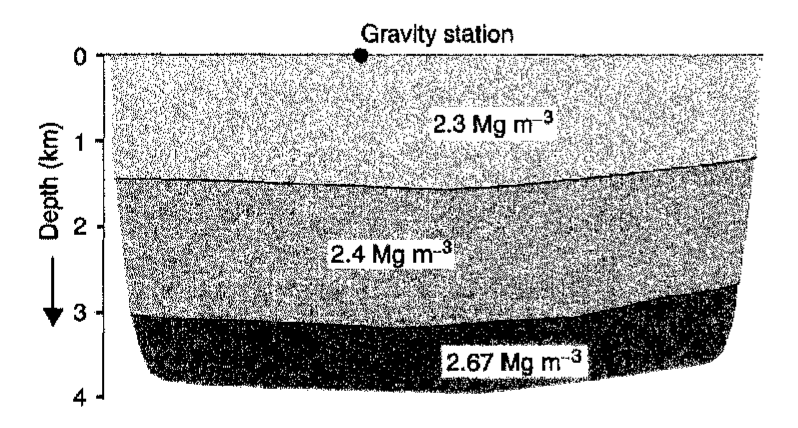
(٢,٥) التفسير الحقلي
Field Interpretation

يتم عادة تفسير نتائج القياسات الجاذبية بحساب المجال الجذبي لنماذج جيولوجية معروفة ومقارنة ذلك بالبيانات الحقيقية المقاسة في الحقل. وهذا التفسير يحتاج إلى كمبيوتر، وإلى وقت قريب كان تحقيق ذلك عزيزاً جداً في الحقل. وحتى الآن، يمكن أن تساعد تقدير التأثيرات المصاحبة لبعض الأجسام البسيطة، والشخص القائم بالعمل (الملاحظ) الذي ينفصل مؤقتاً عن الكمبيوتر الشخصي الجوال الخاص به لمساعدته على إعطاء قيمة ومغزى للبيانات التي تم جمعها في الحقل. وقد يؤدي ذلك أحياناً إلى قرار مصيري باتخاذ مواقع إضافية لمحطات بينية في وقت يمكن أن تنجز فيه هذه المحطات سريعاً وبصورة اقتصادية.

(٢,٥,١) لوح بوجير The Bouguer Plate

يساعد "لوح بوجير" على إعداد أبسط نموذج تفسيري ممكن. وأنه من المؤكد ومن السهل إثباته أن يبلغ التأثير الجذبي لشريحة من مادة ما سمكها ١ كم وأكثر كثافة من المواد المحيطة بمقدار ١ ملي جرام/م^{3}، حوالي (400 g.u.).

وهذا صحيح حتى عندما يبعد السطح العلوي للشريحة أسفل نقاط القياس (كما هو الحال في الطبقة الثانية في الشكل رقم ٢,١١) بشرط أن تكون المسافة بين المحطة وأقرب جانب (side) للشريحة كبيرة إذا ما قورنت بمقدار البعد عن السطح السفلي للشريحة. ويختلف التأثير بشكل تناسب مباشر مع تباين كل من السمك والكثافة.



الشكل رقم (٢,١١). يوضح نموذج لحوض ترسيبي مناسب لتطبيق طرق لوح بوجير للاستقراء التقريبي. وتتميز صخور القاع بالكثافة القياسية للقشرة الأرضية وقدرها ٢,٦٧ جم/متر^{3}.

مثال (٢,١).

في الشكل رقم (٢,١١) إذا ما أخذت كثافة القشرة الأرضية النموذجية بقيمة ٢,٦٧ مجم/م^{3} تأثير السطح العلوي للرواسب بسمك ١,٥ كجم يساوي تقريباً في مركز حوض الترسيب :

$$400 = 220\ g.u \times 0.37 \times 1.5$$

والتأثير الناشئ من الرواسب العميقة بسمك ١.٦ كجم يساوي تقريباً من مركز حوض الترسيب:

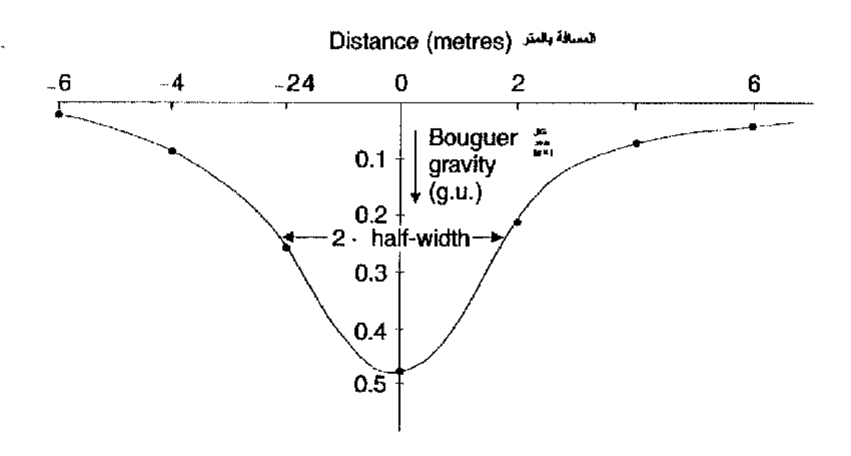
$$400 = 170\ g.u \times 0.27 \times 1.6$$

وهكذا سيصبح الشذوذ (السالب) الكلي حوالي 390 g.u.

(٢,٥,٢) الكرة والأسطوانة

يمكن عمل نموذج لأقل الأجسام امتداداً التي ينتج عنها شذوذا مشابهاً لهذا الشذوذ في الشكل رقم (٢.١٢) (أو عكسه)، وذلك بنمذجتها بالكرة المتجانسة أو بالاسطوانة المتجانسة بمقطع عرضي دائري ومحور أفقي. ومجال الجاذبية لكرة نصف قطرها ٣، مقاس في نقطة تقع مباشرة أعلى مركزها هو:

$$g = 4\pi \rho G r^3 / 3h^2$$



الشكل رقم (٢,١٢). يوضح قطاع (بروفيل) تفصيلي لشذوذ بوجير فوق كهف تحت سطحي.

ويساوي العامل $4\ \pi\ \rho G/3$ حوالي .g.u 280 لتباين كثافة مقداره 1 Mg m-3 ، والمسافة مقاسة بالكيلومتر. أو يساوي .g.u 0.28 إذا ما قيست الأطوال بالأمتار. وعمق مركز الكرة "h" يساوي تقريباً $^4/_3$ (أربعة أثلاث) نصف اتساع "الشذوذ" (anomaly) ويبلغ أقصاه مجال جاذبي لاسطوانة أفقية لانهائية ذات مقطع عرضي دائري :

$$g = 2\ \pi\ \rho\ G\ r^2 /_h$$

والعامل $(2\ \pi\ \rho\ G)$ يساوي .g.u 400 لتباين كثافة قدره $(1\ Mg\ m^{-3})$ وأطوال مقاسة بالكيلومتر وعمق تساوي .g.u 0.4 إذا قيست الأطوال بالمتر وعمق المحور "h" للاسطوانة يساوى نصف أتساع الشذوذ.

(٢,٥,٣) طريقة نتلتون لتعين الكثافة المباشر

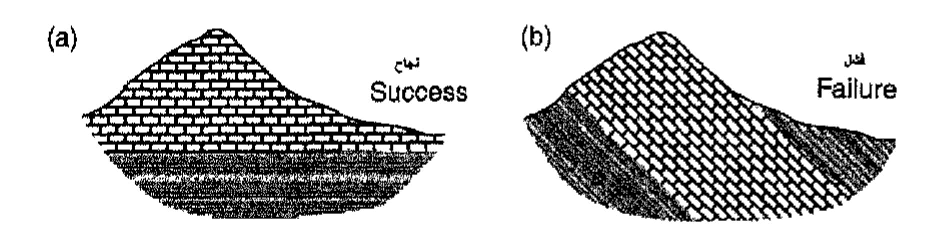
Nettleton's Method for Direct Determination of Density

تعتبر المعلومات المتعلقة بالكثافة شديدة الأهمية لفهم شذوذ الجاذبية ولكن الحصول عليها ليس سهلاً. وقد تكون العينات الصخرية المجمعة من الحقل قد تعرضت أكثر للتجوية ، وبالتالي ستكون أقل كثافة من تلك الكتلة من الصخور التي يفترض أن تمثلها تلك العينة المجواة.

وقد يصاحب نقص الكثافة فقد ونقص بعض من المحتوى المائي المسامي للصخر. ويمكن الحصول على تقديرات للكثافة (بطريقة نادرة ومكلفة) من الآبار المحفورة لقياس الجاذبية أو من تسجيلات الآبار الإشعاعية ، ولكن هذه المعلومات ستكون متوفرة فقط عندما يجري هذا العمل لدعم الاستكشافات البترولية.

وهناك مع هذا ، طريقة ترجع إلى العالم "نتلتون" (Nettleton) (1976) عن طريقها يمكن تقدير الكثافة مباشرة من معلومات الجاذبية. ويمكن تقدير الكثافة الكلية للتضاريس بفرض أن قيمة التصحيح هي تلك القيمة التي تلغي التأثير الطوبغرافي من الخريطة الجاذبية عندما يتم إجراء التصحيحات.

وهذا حقيقي فقط إذا لم يكن هناك شذوذ جاذبي حقيقي مصاحب للتضاريس وسوف تفشل الطريقة إذا كان السطح يمثل "جسماً صخرياً نارياً" (Igneous plug) طولياً أو طبقة من الحجر الجيري مائلة (الشكل رقم ٢,١٣).



الشكل رقم (٢,١٣). يوضح أمثلة لحالات يمكن أن يتوقع فيها: (a) نجاح و(b) فشل، طريقة نتلتون (١٩٧٦م) لتعيين الكثافة.

ويمكن تطبيق هذه الطريقة على قطاع (بروفيل) أو على جميع محطات قياس الجاذبية في منطقة الدراسة. وفي الحالة الأخيرة، يمكن استخدام الكمبيوتر لتحديد قيمة الكثافة الناتجة من المضاهاه البسيطة بين الطوبغرافية وخريطة الشذوذ المعدلة.

وعلى الرغم من ذلك فإن الحسابات عادة ما تجرى بالاستقراء عن طريق خبير في هذا الشأن ولابد للملاحظين الحقليين أن يفهموا التقنية حيث إنه من المحتمل أن يكون عندهم الفرصة لأخذ مزيد من القراءات الإضافية للتحكم في الكثافة.

الفصل الثالث

الطرق المغناطيسية
MAGNETIC METHOD

إن استخدام البوصلة وإبر الانحراف المغناطيسي في العصور الوسطى للبحث عن خام المجنتيت في السويد، جعل من طريقة المغناطيسية أقدم طريقة جيوفيزيائية تطبيقية. ولازالت هذه الطريقة من أكثر الطرق استخداماً على الرغم من أن عدداً محدوداً جداً من المعادن فقط هو الذي يولد تأثيرات مغناطيسية ملموسة.

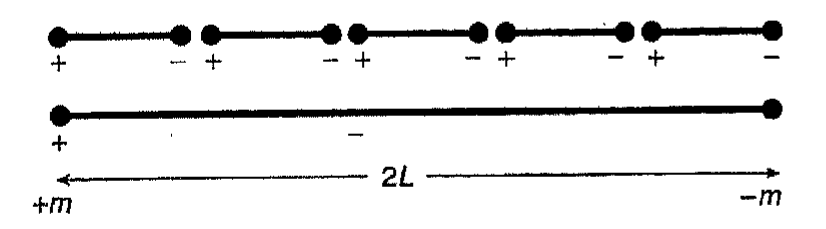
وعادة ما تقاس قوة المجال المغناطيسي بوحدة النانوتسلا nano-Tesla (n T). والوحدة السابقة SI، والجاما (gamma) المعرفة أساساً بأنها تساوي 10^{-5} gauss على الرغم من أنها تكافئ نانوتسلا عددياً إلا أنها لازالت تستخدم حتى الآن.

(٣,١) الخصائص المغناطيسية
Magnetic Properties

على الرغم من أن ما يحكم كل من الأعمال المساحية الجاذبية والأعمال المساحية المغناطيسية معادلات أساسية متشابهه إلا أنهما مختلفان جداً عن بعضهما. فقد تختلف الخصائص المغناطيسية لكتل صخرية متجاورة اختلافاً يصل إلى العديد من الدرجات والشدة فضلاً عن بضع نسب مئوية.

(٣,١,١) الأقطاب، ثنائي القطب والتمغنط Poles, Dipoles Magnetiztion

إذا وجد قطب مغناطيسي معزول فإنه يولد مجالاً مغناطيسياً يخضع لقانون التربيع العكسي وفي حقيقة الأمر، إن المصدر المغناطيسي الأساسي هو ثنائي القطب (فقرة ١.١.٥) ولكن، وحيث أن خط ثنائي القطب المتكررة من الطرف إلى الطرف يولد نفس التأثير وكأنه مغناطيسي ذو قطب موجب وقطب سالب معزول عند الطرفين المتقابلين (الشكل رقم ٣.١) فإن مفهوم القطب غالياً ما يكون مفيداً.



الشكل رقم (٣,١). مركب مجموعة ديبول مغناطيسي (ثنائي القطب) لتويد مغناطيس ممتد. حيث تلغى الأقطاب الموجبة والسالبة بعضها البعض عند نهايات الديبول المتجاورة. والقوة القطبية للمغناطيس الممتد هي نفسها مجموع قوى مجموعة الديبول المشاركة ولكن عزمه المغناطيسي يساوي طوله مضروب في قوة قطبه المغناطيسي.

عند وضع مغناطيس ثنائي الأقطاب في مجال مغناطيسي فإنه يميل إلى الدوران، وعليه فأنه يمكن القول بأنه اكتسب "عزم مغناطيسيي" (magnetic moment)، ويقدر "العزم المغناطيسيي" بـ(2 Lm) في مغناطيس بسيط موضح في الشكل رقم (٣,١) الذي فيه القطب المؤثر هو القطب الموجب وقوته m^+، وعلى بعد 2L من القطب السالب m^-) (ويعرف التمغنط لجسم صلب بعزمه المغناطيسيي لكل وحدة حجوم وهو متجه (vector) له مقدار واتجاه.

(٢,١,٣) القابيلة المغناطيسية Susceptibility

إذا وضع جسم صلب في مجال مغناطيسي فإنه يكتسب جزء من مغناطيسية هذا المجال (أي يتمغنط)، وإذا كانت هذه المغناطيسية صغيرة فإنها تتناسب طردياً مع شدة هذا المجال.

$$M = K H$$

و"القابلية للتمغنط" (K) ضعيفة جداً لمعظم المواد الطبيعية وقد تكون إما "سالبة" (diamagnetism) أو "الموجبة" (paramagnetism). وعادة ما يعتبر المجال المغناطيسي المتولد من قابلية "سالبة" أو قابلية "موجبة" ضئيل جداً حتى أنه لا يؤثر في "أجهزة قياس المغناطيسية" (وهي أداة لقياس قوة مجال الأرض المغناطيسية)، (magnetometers)، ولكن الأجهزة الحديثة عالية الحساسية تسبب خرقاً لهذه القاعدة.

ويعزى أغلب الشذوذ المغناطيسي الملاحظ (observed magnetic anomaly) إلى أعداد قليلة من المواد المغناطيسية الحديدية والتي فيها تحفظ "الجزيئات المغناطيسية (molecular magnets) موازية بفعل "قوى التبادل بين الجزيئات" (intermolecular exchange forces). تحت "درجة الحرارة كيوري" (Curie temperature) تصبح هذه القوى التبادلية شديدة بدرجة تجعلها تتغلب على تأثير "التهيج الحراري" (thermal agitation).

معادن الجنتيت والبيوتيت والجهاميت التي تصل فيها "درجة حرارة كيوري" إلى حوالي ٦٠٠ درجة مئوية هي فقط المعادن المغناطيسية الهامة المتواجدة طبيعياً، ومن بينهم يعتبر الجنتيت أكثرهم شيوعاً. بينما معدن الهيماتيت وهو المعدن الحديدي الأكثر شيوعاً، يكتسب قابلية مغناطيسية ضئيلة، وكثيراً من خامات الحديد لا يتولد عنها شذوذاً مغناطيسياً بدرجة محسوسة.

وتميل الخصائص المغناطيسية للصخور العالية المغناطيسية إلى أن تكون شديدة التغير ولا تتناسب درجة تمغنطها بشكل قاطع مع المجال المغناطيسي التي وضعت فيه.

تمثل "القابلية المغناطيسية المكتسبة" (Quoted susceptibilities) متوسط قوى المجال المغناطيسي للكرة الأرضية.

(٣,١,٣) الدفق المغناطيسي Remanence

قد تكتسب المواد المغناطيسية الحديدية عزماً مغناطيسياً "دائماً" (permanent) بالإضافة إلى عزم "مستحث" (induce) حتى أن تمغنطها لا يسير بالضرورة في اتجاه المجال المغناطيسي للأرض.

قد تكون "نسبة كونيجسبرجر" (Konigsberger ratio) للعزم المغناطيسي الدائم إلى العزم المتوقع استحثاثه في مجال مغناطيسي نموذجي للأرض قدره ٥٠٠٠٠ نانوتسلا، عالية بصفة عامة في الصخور ذات المغناطيسية العالية، وتكون هذه النسبة منخفضة في الصخور ذات المغناطيسية المنخفضة، ولكنها أحياناً تكون عالية بصورة غير طبيعية (أكثر من ١٠٠٠٠) في معدن الهيماتيت. ويسبب أحياناً خام الهيماتيت شذوذاً مغناطيسياً يعود كله إلى ما يسمى "بالدفق المغناطيسي" (Remanence).

(٣,١,٤) قابلية الصخور والمعادن للتمغنط

Susceptibilities of Rocks and Minerals

تعتمد دائماً قابلية الصخور للتمغنط على محتواها من معدن المجنتيت. وعلى ذلك فإن الصخور الرسوبية والصخور النارية الحامضية لها قابلية ضئيلة، بينما صخور البازلت، والدولوريت، والجابرو، لها دائماً مغناطيسية قوية.

وتقلل عمليات التجوية القابلية للمغنطة وذلك بسبب تأكسد المجنتيت إلى هيماتيت، ولكن بعض اللاتريت (Laterites) يكتسب مغناطيسية بسبب تواجد المجمتيت (maghemite) وبقايا "الهيماتيت الممغنط" (magnetized hematite).

ويعطي الجدول رقم (٣,١) قيم القابلية المغناطيسية نسبة وحدة (SI) لبعض الصخور ومعادن الخامات الشائعة في الطبيعة.

الجدول رقم(٣,١). القابلية المغناطيسية للصخور ومعادن الخامات الشائعة.

الصخور	نسبة القابلية للتمغنط
اردواز (slate)	0 – 0.002
دولوريت	0.01 – 0.15
جرينستون	0.0005 – 0.001
بازلت	0.001 – 0.1
جرانيوليت	0.0001 – 0.05
ريوليت	0.00025 – 0.01
ملح طعام (salt)	0.0 – 0.001
جابرو	0.001 – 0.1
حجر جيرى	0.00001 – 0.0001
معادن الخامات	**نسبة القابلية للتمغنط**
هيماتيت	0.001 – 0.0001
مجنتيت	0.1 – 20.0
كروميت	0.0075 – 1.5
بيروتيت	0.001 – 1.0
بيريت	0.0001 – 0.005

(٣,٢) المجال المغناطيسي للأرض
The Magnetic Field of the Earth

المجـــالات المغناطيـــسية للأجـــسام والمـــواد الجيولوجيـــة "تعتلـــي" (تركـــب) (superimposed) الخلفية المغناطيسية لمجال للأرض الرئيسي. يؤثر اختلاف مقدار واتجاه هذا المجال في كل من مقدار وشكل الشذوذ المغناطيسي المحلي.

في الدراسات الجيوفيزيائية يستبدل مصطلحات الشمال، والجنوب التي توصف بهـا القطبيـة (polarity) بمـصطلح إيجـابي وسـلبي علـى التـوالي. ويعـرف اتجـاه المجـال المغناطيسي اصطلاحياً بالاتجاه الـذي تتحـرك فيه وحـدة القطـب الموجـب، وحيـث إن

جميع الأشياء نسبية ، فإن الجيوفيزيائيين يعتقدون أن أي كان القطب المغناطيسي شمالي أو جنوبي أنه موجب.

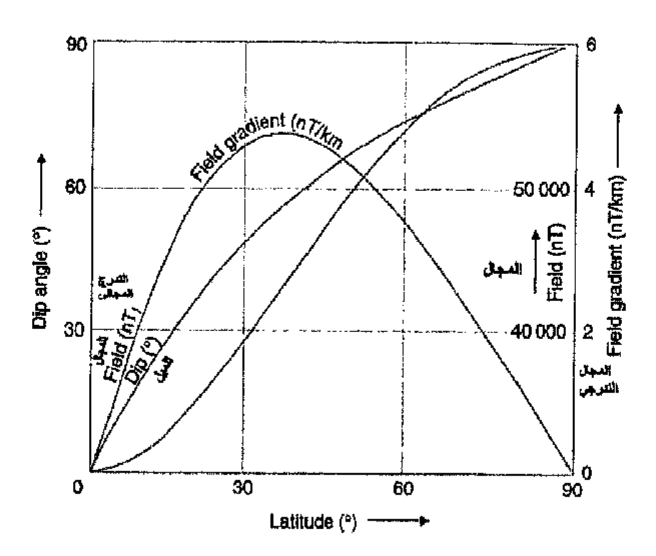
(٣,٢,١) المجال المغناطيسي الرئيسي للأرض Main Field of the Earth

ينشأ المجال المغناطيسي للأرض تياراً كهربياً يسري في لب الأرض الخارجي السائل، إلا أنه يمكن نمذجته (تمثيله) بمغناطيس ثنائي الاستقطاب موضوع عند مركز الأرض. وقد يعتقد بأن سبب الانحراف (أو التشويه Distortion) في مجال هذا المغناطيس ثنائي الاستقطاب والممتد عبر مناطق تصل عرضها عدة كيلومترات، هو تواجد عدد قليل نسبياً من المغناطيسيات الجانبية ثنائية الاستقطاب عند الحد الفاصل بين لب الأرض والوشاح.

يوضح الشكل رقم (٣,٢) تغيرات مقدر واتجاه المجال المغناطيسي للمغناطيس ثنائي الاستقطاب الموضوع على محور دوران الأرض والمصاحب لدرجات خطوط العرض المختلفة. لاحظ أن زوايا الميل بالقرب من خط الاستواء تختلف بمقدار الضعف تقريباً قدر زاوية خطوط العرض. ولشرح مجال الأرض الحقيقي فإنه يجب وضع المغناطيس ثنائي الاستقطاب الرئيسي مائلاً بمقدار حوالي ١١ درجة على محور دوران الأرض.

وهكذا فلا خط الاستواء المغناطيسي الذي يصل نقط لها زاوية ميل مغناطيسي قدرها صفر على سطح الأرض ولا القطبان المغناطيسيان، يتفقان مع وضعهم الجغرافي (الشكل رقم٣,٣). فيقع القطب المغناطيسي الشمالي في شمال كندا، بينما لا يقع القطب المغناطيسي الجنوبي في القارة المتجمدة الجنوبية بل يقع في المحيط الجنوبي على خطوط عرض ٦٥ درجة جنوب وخط طول ١٣٨ درجة شرق.

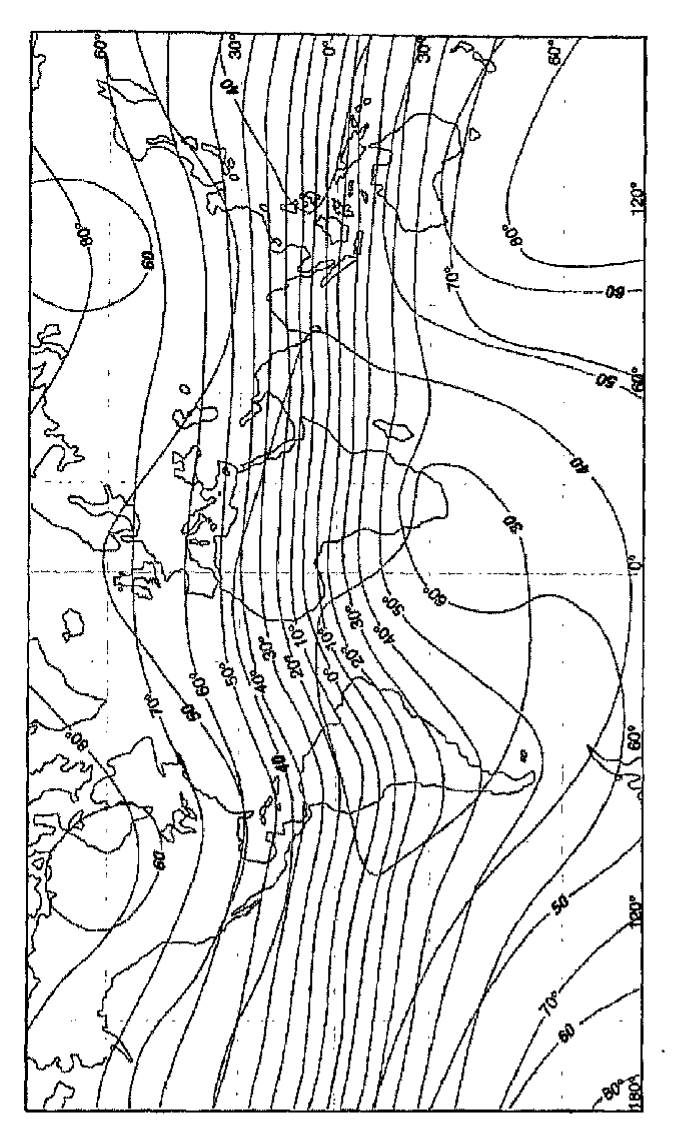
ويعرف الفرق بين اتجاهي الشمال الجغرافي (الحقيقي) والشمال المغناطيسي "بالانحراف المغناطيسي" (magnetic declination)، ولأنه يمكن افتراض أن إبرة البوصلة يجب أن تتجه إلى الشمال إلا أنها "تميل" (تنحرف) (declines).



الشكل رقم (٣،٢). يوضح متغيرات في الكثافة، والميل والتدرج لديبول نموذجي مرصوص على طول محور دوران الأرض ومنتجاً مجال قطبي قدره ٠٠٠ ٦٠ نانوتسلا.

يمكن استخدام زوايا الميل المقدر قيمتها من خريطة العالم (الشكل رقم ٣،٣) للحصول على تقدير مبدئي عن خطوط العرض (عروض) المغناطيسية ومن ثم (وباستخدام الشكل رقم ٣،٢) يمكن الحصول على "معدل الميل الإقليمي" (regional gradients). أن مباشرة هذا العمل يفيد في تحديد ما إذا كان لمعدل الميل الإقليمي أهمية، ولكن تسبب تواجد اختلافات محلية لها أهميتها القصوى فإن هذا الأجراء يعطى فقط عوامل تصحيح تقريبية.

ويتوازى "معدل الميل" (gradients) تقريباً مع اتجاه الشمال المغناطيسي، حتى أن التصحيح يشمل كل من مركبات الشرق – غرب، والشمال – جنوب. وفي الأعمال المساحية الأرضية حيث تحدد منطقة الشذوذ المغناطيسي التي يصل اتساعها إلى العديد من عشرات من النانوتسلا، على خريطة، غالباً ما يهمل التصحيح الإقليمي الذي يقدر عموماً ببضع نانوتسلا لكل كيلومتر.



الشكل رقم (٣,٣). يوضح خريطة توضح توزيعات الميل (الخطوط المستمرة)؛ والأرقام تعني القيم بالدرجات؛ والكثافة (الخطوط المنقطة، والقيم بالآلاف بوحدة النانوتسلا للمجال المغناطيسي للأرض. والخط الأسود الثقيل يشير إلى خط الاستواء المغناطيسي.

(٣,٢,٢) المرجع الحقلي الجيومغناطيسي العالمي

The International Geomagnetic Reference Field (IGRF)

يمكن وصف التغير في المجال المغناطيسي الرئيسي للأرض مع تغير المواقع ممثلة في خطوط الطول والعرض، ومع تغير الزمن، وذلك بالاستعانة بمعادلات "المرجع الحقلي الجيومغناطيسي العالمي" (IGRF) المصمم تجريبياً. هذا المرجع معرف ١٢٠ "معامل كروي منتظم" حتى الرتبة ١٠(N = 10) ومؤيد بنموذج متغيرات عالمي تنبؤي حتى الرتبة ٨ (N = 8). أقصر طول موجه موجودة تصل إلى حوالي 4000 km.

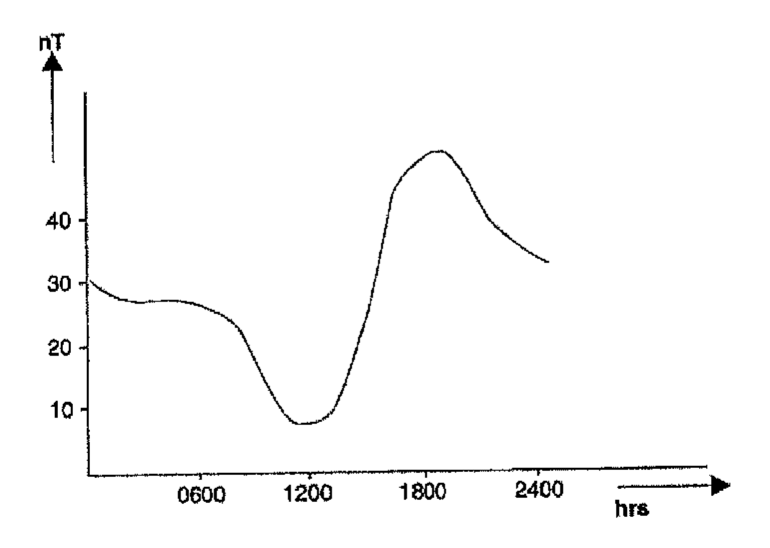
توفر هذه المراجع (IGRFs) المعلومات المنطقية للمجالات المغناطيسية الإقليمية الحقيقية للمناطق الممسوحة جيداً، حيث يمكن استخدام هذه المراجع لحساب التصحيحات الإقليمية، إلا أنه يمكن أن يوجد "تعارض" (discrepancies) بمقدار ٢٥٠ نانوتسلا على الأكثر في مناطق لم يتوافر لها إلا معلومات ضئيلة في فترة إعداد الصياغة (formulation).

بسبب عدم القدرة على توقع التغيرات العالمية طويلة الأمد إلا من خلال "التقدير الاستقرائي" (extrapolation) للمشاهدات (والتسجيلات) السابقة، فإن المرجع (IGRF) يجدد مرة كل خمس سنوات على أساس المشاهدات التي تؤخذ من نقط ملاحظة ثابتة (retrospectively) وتراجع أيضاً استرجاعية تأملية لتعطى نموذج محدد (DGRF).

عندما تجرى المسوحات جوياً أو بحرياً بفارق زمني يصل إلى شهور أو سنين ويراد مقارنتها أو إدماجها يصبح إجراء تصحيحات GRF في هذه الحالة أساسي وحيوي. إلا أن الإجراء السريع لهذه التصحيحات يصبح أقل أهمية في الأعمال المساحية الأرضية حيث إنه يمكن إعادة العمل في مواقع المحطات الأساسية الأرضية (base stations) عند الحاجة.

(٣,٢,٣) التغيرات اليومية النهارية Diurnal Variations

يتغير المجال المغناطيسي للأرض أيضاً بسبب التغير في قوة واتجاه سريان التيارات في غلاف الأينوسفير (ionosphere) . في "النمط الطبيعي للسكون الشمسي" (Solar – quiet [sq]) تكون خلفية المجال المغناطيسي ثابتة بصفة عامة أثناء الليل ولكنها تنخفض بين ساعات الفجر وحوالي الساعة ١١ صباحاً، ثم تزيد مرة أخرى حتى حوالي الساعة ٤ مساءاً، وعندها تبدأ في الانخفاض (declines) حتى يصل إلى مستواه الثابت ليلاً (الشكل رقم ٣,٤). يصل مدى قوة المجال المغناطيسي بين القمة والقاع في العروض الوسطى للأرض إلى مرتبه بضع عشرات من النانوتسلا.



الشكل رقم (٣,٤). يوضح منحنى التغيرات في المجال المغناطيسي في العروض الوسطى للأرض.

وحيث إن تأيين الطبقة العليا من الغلاف الجوي يرجع إلى الإشعاع الشمسي فإن المنحنيات النهارية تميل لأن تكون مرتبطة بصورة مباشرة بالفترة الشمسية المحلية،

إلا أنه قد تكون اختلافات مدى قوة المجال المغناطيسي التي ترجع ٢٠٪ منها إلى الاختلافات في درجة توصيل القشرة الأرضية أكثر أهمية من الفترة الشمسية المرتبطة بمواقع تبعد عن بعضها بضع مئات من الكيلومترات.

وتعتبر الدورة القصيرة، والتي تعرف بما يسمى "بالتنبض الدقيق" (micropulsations) على شكل منحنى جيبي تقريبي له استقطاب أفقي، ذات أهمية في الأعمال المساحية فقط التي يطلب فيها رسم قيم خطوط كنتورية بأقل من ٥ نانوتسلا.

في حدود ٥ درجات من خط الاستواء المغناطيسي تتأثر "التغيرات اليومية" (diurnal variation) "بالدفق الإلكتروني الاستوائي" (equatorial electrojet) وهو عبارة عن حزمة من التوصيل العالي في غلاف الأيونوسفير اتساعه ٦٠٠كم (ممثل بخمسة درجات العرض). وقد يصل مدى اتساع منحنيات التغيرات النهارية في لمناطق المتأثرة إلى ما يزيد عن ١٠٠ نانوتسلا ويمكن أن تختلف بمقدار من ١٠ إلى ٢٠ نانوتسلا في المواقع التي تبعد عن بعضها بمقدار بضع عشرات من الكيلومترات فقط.

ويمكن توضيح الكثير من الظواهر المغناطيسية المشاهدة في المناطق القطبية بما يسمى "بالدفق الإلكتروني المطلعي" (auroral electrojet) الذي يخضع لتذبذبات شديدة وقاسية ذات دورة قصيرة. وأنه من الأهمية الخاصة أن ترصد باستمرار التغيرات في خلفية المجال المغناطيسي في كل من المناطق الاستوائية والمناطق القطبية. وقد يكون الرجوع إلى المحطة الأساسية في غصون ساعة أو ساعتين غير كاف.

(٣,٢,٤) العواصف المغناطيسية Magnetic Storms

تعتبر تأثيرات "الدفق الالكتروني المطلعي" ذات المدى القصير هي حالات خاصة من الاضطرابات الغير منتظمة (Ds and Dst) تعرف بالعواصف المغناطيسية (magnetic storms). وتنشأ هذه العواصف من نشاط البقع الشمسية والانفجارات الشمسية، وعلى الرغم من أن هذه التسمية ليست لها علاقة بالأرصاد الجوية إلا أنها تتواجد في

الأيام الصافية عديمة السحب. وهناك عادة نشاط (onset) مفاجئ يمكن أن يحدث خلاله تغير في قوة المجال المغناطيسي تصل إلى مئات النانوتسلا، يتبعه عودة بطيئة وغريبة الأطوار إلى الوضع الطبيعي.

ويكون "التنبض الدقيق" (micropulstations) في أقوى صورة (بصفة عامة) في الأيام التالية مباشرة للعاصفة المغناطيسية عندما تصل سعة المجال المغناطيسي لمركبات الدورات التي تصل مداها الزمني بضع عشرات من الثواني، إلى خمسة نانوتسلا بحد أقصى.

تقوم هيئات التنبؤ بأحوال "الأيونوسفير" في كثيراً من البلدان بإعطاء تحذير مسبق باحتمال عام لحدوث العواصف المغناطيسية ولكن بدون تفصيل لنمطها. وبالتالي تكون التغيرات في كل من الزمن واتساع المناطق سريع جداً لدرجة أنها لا تتيح فرصة تطبيق التصميمات والترشيحات المطلوبة. ويجب أن تتوقف الأعمال المساحية حتى انتهاء العاصفة المغناطيسية.

تتأثر بشدة معلومات المسح الجوي المغناطيسي بأقل درجة من عدم انتظام المجال المغناطيسي، ولأغراض التعاقد على تنفيذ هذه الأعمال المساحية فقد تعرف العواصف المغناطيسية تقنياً بأنها بعض الخروج أحياناً عن خطية منحنى التغير النهاري بمقدار ضئيل يصل إلى ٢ نانوتسلا في الساعة. ويمكن تطبيق نفس المعاير في أعمال المسح للآثار عندما يستخدم فقط "مجس" واحد (فضلاً عن "جهاز جراديومتر ثنائي المجسات" (two – sensors gradiometer).

(٣,٢,٥) التأثيرات الجيولوجية Geological Effects

تتراوح "نقاط كيوري" (Curie points) لجميع المواد المغناطيسية ذات الأهمية الجيولوجية بين ٥٠٠ – ٦٠٠ درجة مئوية. وتنتشر هذه الدرجات في الجزء السفلي من القشرة القارية الطبيعية بينما تنتشر تحت خط "موهو" (Moho) أسفل القشرة المحيطة. وللجزء العلوي من الوشاح خاصية مغناطيسية ضعيفة لدرجة أن القاعدة المؤثرة

لمصادر المغناطيسية المحلية تنحصر في "الاتزان الحراري كيوري" (curie isotherm) أسفل القارات، وموهو (Moho) أسفل المحيطات.

ويمكن أن تنشأ رواسب المجنتيت الكتلى مجالاً مغناطيسياً يبلغ قدره ٢٠٠٠٠٠ نانوتسلا، وهو يعادل أضعاف المرات قدر شدة مجال الأرض الطبيعي. ونظراً "للطبيعة ثنائية الاستقطاب" (dipolar nature) لهذه المصادر المغناطيسية ولغيرها جميعاً، فإن الشذوذ المغناطيسي يكتسب أجزاء موجبة وأجزاء سالبة، وفي الحالات القصوى فإن أجهزة القياس المغناطيسية الموجهة قد تسجل على نحو متساو مجالات سالبة.

وعادة ما يتواجد "شذوذ مغناطيسي" بهذا الحجم السابق ذكره، ولكن قد تنشأ "القواطع" (dykes) و"الانسيابات (flows) " البازلتية، وبعض التداخلات النارية القاعدية مجالات مغناطيسية بالآلاف وأحياناً بعشرات الآلاف من النانوتسلا.

ومن الناحية الأخرى. تعتبر المجالات المغناطيسية الشاذة والتي تصل قوتها إلى أكثر من ١٠٠٠ نانوتسلا نادرة الحدوث حتى في المناطق التي تنتشر بها مكاشف صخور القاعدة المتبلورة. وبصفة عامة تولد الصخور الرسوبية تغيرات في قوة المجال المغناطيسي أقل من ١٠ نانوتسلا.

ويحدث هذا أيضاً عند حدوث تغيرات في تمغنط التربة وما لهذا من أهمية في مجال علم الآثار. في بعض المناطق الاستوائية (الحارة) يعمل معدن المجهميت (maghemite) الذي يتكون على شكل عقد حديدية تنمو في رواسب الليتريت، على توليد مجال مغناطيسي تصل شدته إلى عشرات النانوتسلا.

وقد تتعرض مؤخراً هذه العقد (nodulars) إلى التجوية (weathering) فينتج عن ذلك حصى من الحجر الحديدي(ironstone gravels) الذي يسبب مستويات عالية من التشويش على أجهزة القياس أثناء الأعمال المساحية المغناطيسية الأرضية. والعوامل التي تؤدي إلى تكوين معدن المجهميت فضلاً عن التكوين الأكثر شيوعاً لمعدن الهيماتيت الغير ممغنط، عوامل غير مفهومة تماماً حتى الآن.

(٣,٣) أجهزة قياس المغناطيسية
Magnetic Instruments

كانت تستعمل إبرة بوصلة تركب فوق محور أفقي (إبرة لقياس درجة الميل) في الأجهزة القديمة لقياس المغناطيسية (جهاز ماجنيتومتر ذو اللى Torison magnetometers) وذلك لقياس المجالات المغناطيسية الرأسية.

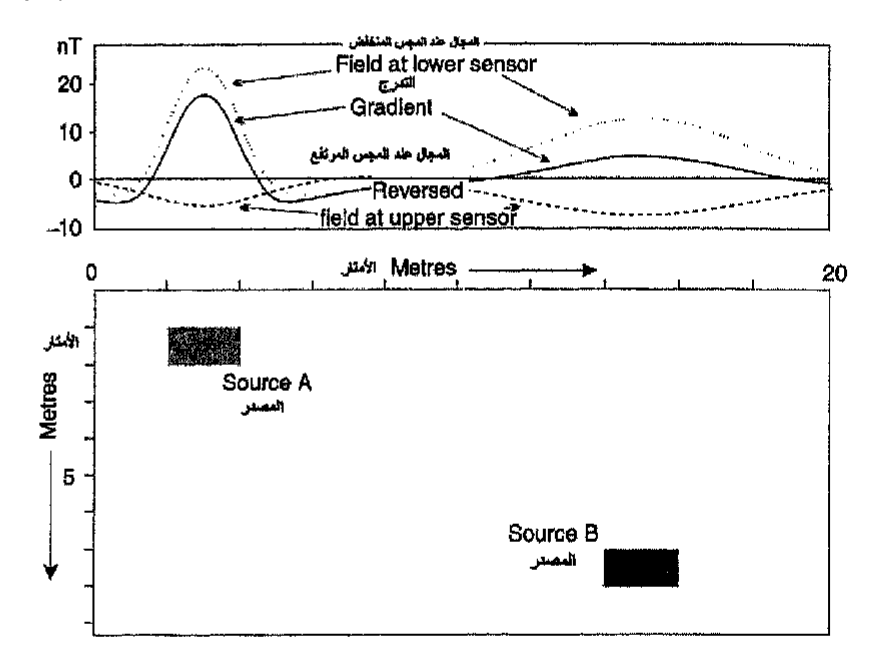
وكانت تستخدم هذه الأجهزة حتى عام ١٩٦٠م تقريباً عندما بدأ استبدالها بأنواع أخرى من أجهزة القياس الحديثة. وهناك ثلاثة أنواع من هذه الأجهزة تسمى :

- "فلاكسجيت" (Fluxgate).
- "بروتون بريسشن" (Proton precession) .
- "ماجنيتومتر البخار القلوى (magnetometers alkali vapour).

وهذه الأنواع الثلاثة من الأجهزة موجودة الآن في السوق (ويسوق لها الآن) وهي مزودة "بمسجل للبيانات"، وقد تجهز لتسجيل البيانات ذاتياً (أوتوماتيكياً) على فترات زمنية ثابتة بالتتابع في المحطات الأساسية.

ويمكن لهذه الأنواع الثلاثة من الأجهزة أن تستخدم فرادا أو كمرادفة لجهاز "قياس التدرج المغناطيسي" (gradiometers) على الرغم من أنه يجب الحذر عند استخدام هذا النوع من الأجهزة (precession) حيث يجب التأكد من عدم تأثير مجال الاستقطاب لأحد "المجسات" (sensor) في قياسات "المجس" الآخر.

وتركز قياسات التدرج في المنطقة القريبة من المصادر المغناطيسية السطحية (الشكل رقم ٣,٥) مما يجعل هذه القياسات مفيدة بصفة خاصة في مجال الدراسات الأثرية والبيئية.



الشكل رقم (٣,٥). يوضح تأثيرات قانون التكعيب العكسي في التدرج المغناطيسي. وتوضح المنحنيات المنقطة التأثيرات المغناطيسية لجسمين ثم قياسهما على سطح الأرض، وتوضح المنحنيات المشرطة التأثيرات المغناطيسية (العكسية) كما تم قياسها على ارتفاع متر واحد فوق سطح الأرض. ويوضح خطوط المنحنيات الصماء التأثير التفاضلي. وفي حالة المصدر A) يكتسب الاختلاف الشاذ (المتدرج) قوة سعه تساوي نظيرها في شذوذ مقاس عند مستوى الأرض. وفي حالة المصدر العمق A) تتشابه سعة مجال الشذوذ الكلية عند كل من موقعي الجسين ويكون الشذوذ المتطابق صغيراً.

(٣,٣,١) جهاز ماجنيتومتر "بروتون بريسشن"

Proton Precession Magnetometer

يعمل جهاز ماجنيتومتر "بروتون بريسشن" باستخدام العزم المغناطيسي لنواة ذرة الهيدروجين (البروتون). يتركب الجزء الحساس في هذا الجهاز من زجاجة تحتوى على سائل هيدروكربوني محفوظ في درجة التجمد المنخفضة يلتف حوله ملف من سلك نحاسي.

وعلى الرغم من أن كثيراً من السوائل يمكن استخدامها إلا أنه يجب أتباع توصيات "المصنعين" التي عادة ما تكون حول درجة النقاء العالي لمادة "الدكان" (decane) وذلك في حالة ملء الزجاجة حتى قمتها. ويمر التيار المستقطب خلال الملف مولداً مجالاً مغناطيسياً قوياً، ووسط هذا المجال سيميل عزم البروتونات في ذرات الهيدروجين إلى أن تصبح مستقرة.

وعند غلق التيار تعيد البروتونات تنظيم نفسها إلى اتجاه المجال المغناطيسي للأرض. وتصف نظرية الكم (Quantum theory) إعادة التوجه هذه على أنها تحدث "كانقلاب مفاجئ" (abrupt flip) مع انبعاث واحد كوانتم من الطاقة الإلكترومغناطيسية.

وفي الميكانيكية التقليدية، توصف البروتونات على أنها عملية تقدم (processing) حول اتجاه المجال المغناطيسي مثل تقدم "الجيروسكوب" (gyroscope) حول مجال الجاذبية للأرض بتردد يتناسب مع قوة المجال ويبعث موجات مغناطيسية كعادتها دائماً.

وتربط كل من النظريتين "تردد الموجات الالكترومغناطيسية" بالمجال الخارجي عن طريق عاملين من أكثر الكميات الفيزيائية المعروفة بدقة، هما "ثابت بلانك" (Planck's constant)، "العزم المغناطيسي للبرتون" (Proton magnetic moment).

في المجال المغناطيسي للأرض الذي يصل شدته إلى حوالي ٥٠٠٠٠، (أي بدقة تصل إلى جزء واحد في 50 000) (أي بدقة تصل إلى واحد نانوتسلا) إلى طور معقد من دروات كهربائية حساسة في نصف ثانية أو ثانية واحدة التي سيسمح بها جميع الجيوفيزيائيين الشباب والأجهزة الفوق – محمولة أصبحت في متناول اليد وهذه الأجهزة تقيس حتى عشرة نانوتسلا ولكن هذه تعتبر أسهل فقط في الاستخدام ولكنها لم تصبح شائعة الاستخدام حتى الآن.

ومن الناحية النظرية فإن جهاز "الماجنيتومتر البروتوني" له القدرة على القياس بأي دقة مرغوبة، ولكن من الناحية العملية فإن الاحتياج إلى القراءة خلال فترات قصيرة، وكذلك إلى تيارات مستقطبة بشكل كاف (مقبول) يؤدي إلى إمكانية القراءة حتى حوالي واحد من العشرة نانوتسلا.

وقد تعطى "أجهزة الماجنيتومتر البروتوني" قراءات مشوشة في الحقل المغناطيسي ذو المجالات القوية، وأيضاً بسبب التداخل من خطوط القوى الكهربية ومن أجهزة الإرسال التي تعمل بالراديو وحتى من التيارات الدوامية التي تحدث في الموصلات الكهربية القريبة وذلك عن طريق إنهاء تيار الاستقطاب (polarizing current). ويمكن أيضاً لهذه الأجهزة أن تقيس فقط المجالات المغناطيسية الكلية، التي يمكن أن تسبب مشاكل في استقراء مناطق الشذوذ الواسعة حيث يتغير اتجاه المجال سريعاً من مكان لآخر.

وعلى الرغم مما ذكر من عوائق إلا أنها عوائق بسيطة لا تؤثر كثيراً في استخدام الأجهزة المغناطيسية. والدليل على ذلك هو انتشار استخدام أجهزة "الماجنيتومتر البروتوني" ذو الحساسية التي تصل من واحد من العشرة و حتى الواحد نانوتسلا في الأعمال المساحية المغناطيسية الأرضية.

وتسمح خاصية التوجيه الذاتي لجهاز "المجس" (Sensor) أن يثبت جيداً على "سارية" (staff) بعيداً عن كل من "الملاحظ" (observer) ومن المصادر المغناطيسية الصغيرة على مستوى الأرض (الشكل رقم ١,٦) على هيئة قيم تيار مطلقة (خالية) بالنانوتسلا، وعلى الرغم من ذلك فإن التصحيحات يجب أن تجري للتغيرات اليومية.

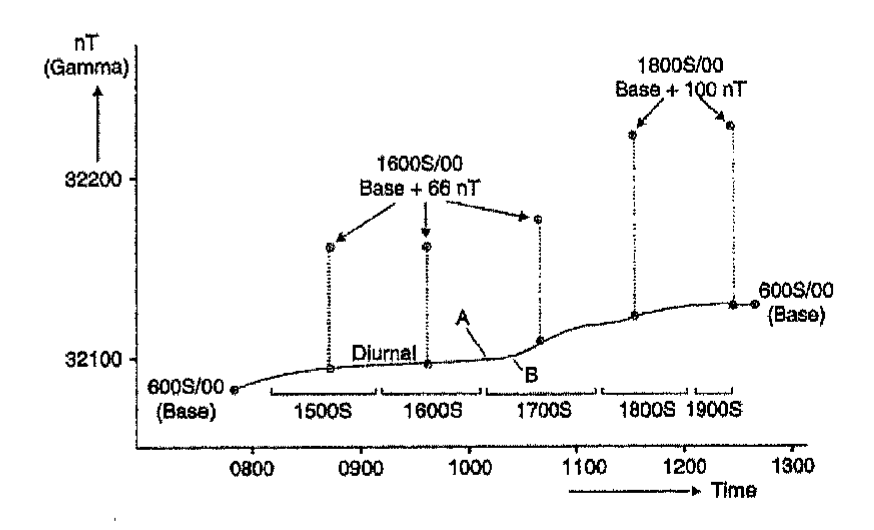
(٣,٣,٢) ماجنيتومتر "البخار القلوي" عالي الحساسية

High Sensitivity (Alkali Vapour) Magnetometer

يمكن لأجهزة "الماجنيتومتر البروتوني" أن تعمل بطريقة أكثر حساسية وذلك باستخدام تأثير "أوفرهوسر" (overhouser) والذى تعمل فيه موجة الراديو (VHF) على مادة "بارو مغناطيسية" تضاف إلى زجاجة السائل (bottle fluid).

ويؤدي ذلك إلى زيادة الإشارة المتقدمة (precession signal) إلى تكبير المجال عدة درجات وفي ذات الوقت يتم تحسين النسبة بين الإشارة والتشويش. ومع ذلك فإنه يمكن الحصول على حساسية عالية بشكل طبيعي (الآن) مستخدمين الإلكترونات التي لها عزم مغناطيسي يصل إلى حوالي ٢٠٠٠ مرة أكثر من تلك التي للبروتونات.

ويمكن توفير الكترونات معزولة بشكل مؤثر بواسطة أبخرة العناصر القلوية (عادة ما يكون السيزيوم) وذلك لاحتواء المدار الأخير لذرات تلك العناصر على الكترون واحد. ويشبه ما يحدث في الأجهزة الالكترونية ما يحدث في أجهزة "الماجنيتومتر البروتوني" في ملاحظة الانتقال بين أشكال الطاقة، ولكن مع فروق شديدة في الطاقة تعمل على توليد ترددات عالية يمكن قياسها بأقل القليل من نسبة الخطأ.



الشكل رقم (٣,٦). يوضح المراقبة اليومية للتغيرات التي تراقب لكل من جهاز الذاكرة في المحطة اليومية وكذلك بتكرار أخذ القراءات في المحطات الثانوية المختلفة. وينشأ أكبر خطأ باستخدام الامتداد الخطي المستقيم بين القيم اليومية المشتقة من المحطات الثانوية ويصل مقداره ٥-١٠ نانوتسلا وله خط تأثير ١٧٠٠ S بين النقطتين (A)، (B). وإجراء المد باستخدام منحنى ناعم بدلاً من الخط المستقيم يؤدي إلى الإقلال الواضح في هذا الخطأ. وتقدر الانحرافات اللازمة لجعل صفوف المحطات الثانوية تقع على المنحنيات اليومية، بمقدار الاختلاف بين القيم القياسية عند كل محطة أرضية يومية وتلك المقاسة عن المحطات الثانوية. ويوضح الشكل أيضاً الفترات الزمنية التي تستغرقها قراءة خطوط الأعمال المساحية الفردية.

إن عملية القياس الحقيقي عملية غاية في التعقيد، حيث تشمل تصعيد الالكترونات إلى مدارات طاقة أعلى، وذلك باستخدام شعاع ليزر (على شكل تدفق ضوئي optical pumping)، ثم بعد ذلك تعين تردد إشارات الراديو عالية التردد التي ستحدث أو تطلق الانتقال إلى الحالة المنخفضة.

ومع ذلك فإن كل هذه العمليات غير مرئية للشخص المستخدم للجهاز. وفي الأساس فإن القياسات غير مستمرة ولكنها تتم في وقت قصير جداً حيث يمكن أخذ عشرة قراءات كل ثانية بطريقة روتينية.

إن تأثيرات التداخل الالكتروني وكذلك تأثيرات الميل العالي للمجالات المغناطيسية في الأجهزة الالكترونية أقل أهمية من تلك التي في الأجهزة البروتونية المتقدمة.

تتأثر أجهزة الماجنيتومتر التي تعمل "باستخدام البخار القلوي" (alkali vapour magnetometer) بأي تغير قليل في الاتجاه. حيث لا يمكن الحصول على قراءات إلا إذا كان جهاز "المجس" (Sensor) متوجهة بشكل مناسب بفارق درجات اختلاف ضئيلة في اتجاه المجال المغناطيسي أو في الاتجاه العمودي عليه. ولا يعتبر ذلك عائق في معظم الحالات فضلاً عن قلة الإقبال على شراء هذه الأجهزة لاستخدامها في المسح الأرضي نظراً لارتفاع ثمنها النسبي بالإضافة إلى أن الحساسية العالية في معظم التطبيقات الجيولوجية ليست مطلوبة.

ومع ذلك فإن الحساسية العالية تكون مطلوبة بشكل أساسي في قياس الميل المغناطيسي (gradiometry) (الشكل رقم ٣،٥) في مجالات مغناطيسية لها اختلافات أقل من واحد نانوتسلا والتي قد تكون لها أهمية في البحث عن الآثار (archaeology) حيث التغير السريع في مساحة محدود (أحياناً تستخدم أجهزة غير مغناطيسية لها مقداح زند؛ trigger) تعمل بدوران عجلة) يحتاج إلى استمرار واقعي في أخذ القراءات.

(٣,٣,٣) ماجنيتومتر "فلاكسجيت" Fluxgate Magnetometer

تتكون العناصر التي تميز هذا الجهاز (Fluxgate magnetometer) من اسطوانة لبيه واحدة أو أكثر مصنوعة من سبيكة مغناطيسية، ويلتف حولها ملف دوراني (wound coil) يمكن للتيار الترددي أن يمر من خلاله. ويمكن للتغير في خصائص الدوائر الكهربية الناشيء من تمغنط الاسطوانة اللبية (core) أن يتحول إلى فرق جهد (يقاس بالفولت) ويتناسب طردياً مع شدة المجال المغناطيسي الخارجي المؤثر في محور الاسطوانة (core axis). وهكذا تعبر القياسات عن مركبات المجال المغناطيسي في اتجاه يوجه إليه جهاز المجس (Sensor). ويقاس المجال المغناطيسي الرأسي في معظم الأعمال المغناطيسية الأرضية.

لا تقيس أجهزة الفلاكسجيت (fluxgates) القوة المطلقة للمجال المغناطيسي ولذلك فإنها تحتاج إلى معايرة. وهي تتعرض إلى انحراف حراري (thermal drift) وذلك لتغير كل من الخصائص المغناطيسية "للاسطوانات اللبية" وإلى حد ما الخصائص الكهربية للدوائر مع التغيير في درجات الحرارة. وتُعرض القراءات يقيناً على هيئة قراءات ابتدائية بسيطة يستدل عليها بموضع (قراءة) الإبرة على القرص المدرج. وعلى الرغم من المطالبة المتناقضة لبعض المصنعين فإن هذه الحساسية غير ملائمة لمعظم أعمال المسح الأرضي.

واحدة من مشاكل جهاز الفلاكسجيت (fluxgates) المحمول أنه يجب على مشغل الجهاز (operator) أن يكون ملتصق (close) بجهاز المجس (Sensor) خلال أخذ القراءة وهذا يرجع إلى أن هذا الجهاز يحتاج دائماً إلى إعادة توجيه. إن التأكد من أن مشغل الجهاز (operator) ليس مصدراً ممغنطاً (بما يمكن أن يحمله من أدوات حديدية) ليس سهلاً. وأيضاً أن معظم البطاريات الجافة المتداولة الآن مغطاة بطبقة من الصلب صغيرة يمكن تلافيها وبالتالي فهي مصدر للمغنطة.

ويمكن أن تسبب هذه المصادر الممغنطة قراءات تشويشية وذلك إذا تم تركيب "المجس" في نفس الفراغ الممغنط بهذه المصادر. وتستخدم أجهزة "الفلاكسجيت" الآن

بصفة عامة كأجهزة ذات ذاكرة داخلية أو متصلة بمسجل بيانات في المسح الأثري حيث أن إهمال زمن القراءات يسمح بأخذ كم كبير من القراءات بسرعة في مساحة صغيرة. إجراء المسح بهذا الشكل يمكن أن يحتاج إلى إجراء قياسات ملتصقة بمستوى الأرض ولا يمكن أن يجرى باستخدام "الماجنيتومتر البروتوني" (Proton magnetometer) نظراً لحساسية المجال المغناطيسي والتداخل الالكتروني.

إن استخراج القراءات من "مجسين" (Two Sensors) متشابهين ومتصلين بجهاز "الفلاكسجيت" (Fluxgate) للحصول على معلومات عن التدرج المغناطيسي، يقلل من تأثيرات الانحراف الحراري، ويختزل تأثير الأخطاء في التوجيهات، ويؤكد مصادر الشذوذ المغناطيسية المحلية (الشكل رقم ٣,٥)، ويقلل بصورة واقعية تأثير التغيرات اليومية (النهارية) التي تتضمن ظهور "التنبض الدقيق". ويمكن لجهاز "الفلاكسجيت" ذو الثلاث "مكونات" أن يستغنى عن الاحتياج للتوجيه الدقيق للجهاز أو يمكن توفير البيانات عن اتجاهات المجال المغناطيسي وشدته بديلاً عن التوجيه الدقيق.

(٣,٤) المسح المغناطيسي
Magnetic Survey

على الرغم من إمكانية الحصول على قيمة القراءات المطلقة (ويمكن تكرار ذلك) بمجرد لمس زرار في جهاز "الماجنيتومتر البروتوني"، و"الماجنيتومتر السيزيومي" (Caesium magnetometer)، إلا أنه إذا أهملت التحذيرات، فإن إمكانية إنتاج خرائط مغناطيسية معيبة (fault maps) يظل قائماً، وكمثال عند القيام بقياس شدة المجال المغناطيسي فإنه يجب مراجعة جميع المحطات الثابتة الأساسية (Base location) ولا يجب استخدام موقع ما كمحطة أساسية إذا تغيرت القراءة جزرياً بشكل ملحوظ بمجرد إزاحة جهاز "المجس" متر واحد.

(٣,٤,١) بداية المسح المغناطيسي Starting Survey

تعتبر مراجعة الأجهزة (magnetometers) ومراجعة خبرة القائمين على تشغيلها هي أول خطوة من خطوات المسح المغناطيسي. ويمكن للمشغل نفسه أن يكون أحد المصادر القوية للتشويش المغناطيسي. على الرغم من أن المشكلة ستكون أقل حده بكثير عندما يوضع "المجس" (sensor) بعيداً بمسافة ٣ أمتار عن جسم المشغل إلا أن هذا لا يحدث حيث يجب حمل "المجس" قريباً ملتصقاً بجسم "المشغل" كما هو الحال في جهاز "الفلاكسجيت (fluxgates).

ويمكن للأخطاء أن تنشأ أيضاً عند وضع جهاز "المجس" (Sensor) فوق قضيب قصير أو في حقيبة تحمل على الظهر. وتؤثر البوصلة، وسكينة الجيب (المطواة)، و"الشاكوش الجيولوجي" على "المجس" إذا وضعت على مسافة أقل من متر. ويحتمل عند استخدام أجهزة الماجنيتومتر ذات الحساسية العالية أن يحتاج الأمر إلى زيارة الخياط (وصانع الأحذية) لتفصيل ملابس غير ممغنطة. ويمكن للمسح باستخدام السيارة (المركبات) أن يؤثر على النتائج حتى مسافة تصل إلى ٢٠ متراً. ويجب تحديد المسافة الآمنة قبل البدء في العمل المساحي.

يجب أن تعطى أجهزة "الماجنيتومتر المطلقة" (absolute magnetometers) نفس القراءة في نفس الزمن لنفس المكان. وتكون الاختلافات في القراءات غالباً أكثر من عشرة نانوتسلا في الأجهزة المصنعة قبل سنة ١٩٨٠م ولكن الآن نادراً ما تزيد عن واحد أو اثنين نانوتسلا. ويمكن وضع أجهزة (Sensors) ملتصقة ببعضهم البعض أو حتى يتلامسوا أثناء إجراء المراجعة، ولكن قراءات الماجنيتومتر في هذه الحالة لا يمكن أن تكون دقيقة في ذات الوقت ؛ وذلك بسبب حدوث تداخل للمجالين المغناطيسين المستقطبين.

وتدل التناقضات الكبيرة والقراءات شديدة التباين التي يعطيها "جهاز بروتون" على أنها قليلة التناغم (poorly tuned). ويمكن تحديد مدى التناغم الصحيح باستخدام

الخرائط العالمية (global maps) (الشكل رقم ٣,٣) ولكن يجب أن تجرى المراجعة النهائية أثناء القياسات في الحقل.

ويجب الحصول على القراءات شبه النموذجية إذا اختلف وضع الأجهزة باختلافات يصل مداها إلى أكثر من حوالي ١٠٠٠٠ نانوتسلا عن وضعها الصحيح. (كما ذكر في المثال رقم ٣,١) حيث وصل المدى ٤٧٠٠٠ نانوتسلا. وفي موديلات الأجهزة اليدوية يضبط التناغم بشكل عام على خطوات تصل إلى بضع آلاف من النانوتسلا ، ولكن يمكن تحقيق دقة أكبر باستخدام جهاز "التحكم الدقيق" (microprocessor).

ويؤدي هذا الضبط الدقيق للتناغم ولو جزئياً إلى أن بعض أجهزة "ماجنيتومتر بروتون" تستطيع أن تقرأ حتى دقة تصل إلى واحد من العشرة نانوتسلا. وغالباً ما تبرمج هذه الأجهزة لتنبه إلى التناغم المعيب أو شدة المجال المغناطيسي العالي وذلك بمنع الكشف عن الأرقام التي تقع ما بعد نطاق النقطة العشرية (decimal point).

ويوضح المثال رقم (٣,١) أيضاً أن القابلية للتكرار بمفردها لا تعطى ضمانا للتناغم الصحيح. بل إنه يعتبر المدى الوضعي للتناغم الذي على أساسه يمكن للدوائر أن تبحث عن الإشارات الدقيقة هو الذي يستطيع أن يبرهن على مدى التناغم.

مثال (٣,١). تناغم "الماجنيتومتر البروتوني" (Proton magnetometer) (نموذج يدوي)

وضعية التناغم	القراءات		
30 000	31077	31013	31118
36 000	37481	37788	37305
47 000	47171	47169	47169
64 000	65517	65517	65517

(٣,٤,٢) رصد التغيرات اليومية (النهارية) Monitoring Diurnal Variation

تعتبر التصحيحات المغناطيسية اليومية أساسية في معظم الأعمال الحقلية ، ما لم تكون معلومات قياس شدة المجال المغناطيسي هي فقط المستهدفة من المسح الحقلي. وإذا

توافر فقط جهاز واحد في الموقع، فإن إجراء هذه التصحيحات يجب أن يعتمد على تكرار الزيارات للمحطة الأساسية والمحطة الثانوية بفارق زمني مثالي لا يقل عن ساعة واحدة بين كل زيارة وأخرى.

ويمكن إنشاء منحنى يومي أكثر استكمالاً إذا استخدم جهاز "ماجنيتومتر ثانوي ثابت" (second, fixed magnetometer) للحصول على قراءات كل فترة بينية تصل من ٣ إلى ٥ دقائق.

وهذا لا يحتاج أن تكون الأجهزة الحقلية في المحطات من نفس النوعية. فيمكن أن يوفر جهاز " ماجنيتومتر بروتوني" رخيص الثمن معلومات تصحيحية يومية وافية مع مسح مغناطيسي باستخدام "جهاز بخار سيزيومي" (caesium vapour instrument) غالي الثمن.

ومبدئياً، فإنه يمكن أن يكون من غير الضروري تكرار إعادة شغل المحطة الأساسية وذلك عندما تعمل هذه المحطة الأساسية ذاتياً (أوتوماتيكياً) ومع ذلك فإنه ليس عملياً أن نعتمد كاملاً على تسجيلات المحطة الأساسية (base record)، حيث إن استرداد المعلومات الحقلية سيكون صعباً، إن لم يكن مستحيلاً، إذا أخفق الجهاز في المحطة الأساسية.

وبوضوح، فإنه يجب إبعاد المحطات الأساسية للقياس عن مصادر تداخلات المغناطيسية المحتملة (وخاصة المؤقت منها مثل وسائل المواصلات)، كما يجب أن تكون هذه المحطات موصوفة لاستخدامها مستقبلاً. ويحتاج الأمر إلى حذر ويقظة (vigilance) خاصة إذا تم ربط أجهزة القياس الحقلية وأجهزة الضبط اليومي (diurnal instruments) بخط تبادل معلومات وكذلك إذا أجريت التصحيحات أوتوماتيكياً.

وما لم يوقع المنحنى اليومي بصورة صادقة ويختبر فإن شاذات مغناطيسية يمكن أن تلاحظ في معلومات الضبط اليومي (كما لو كانت بسبب مرور عابر سبيل فضولي

فوق المحطة) ويمكن أن تظهر، في القياسات العكسية، كما لو كانت شذوذا في بيانات المجال المغناطيسي.

(٣,٤,٣) الإجراءات الحقلية – المسح الحقلي الشامل

Field Procedures – Total Field Surveys

يجب إعداد جهاز ماجنيتومتر لقياس التصحيحات اليومية في بداية كل يوم من أيام الأعمال المساحية. ويجب أن تؤخذ القراءة الأولى لجهاز الماجنيتومتر الحقلي في المحطة الأساسية (base) أو في المحطات الثانوية (sub-base) وتؤخذ القراءة من المحطة الأساسية سواء أوتوماتيكياً أو يدوياً في نفس زمن أخذ القراءات في المحطات الثانوية. وهذا لا يحتاج بالضرورة إلى ضبط الجهازين.

ويجب أن تؤخذ القراءات الحقلية مرتين كما يجب أن لا تختلف القراءة في المرتين عن واحد نانوتسلا. وقد يدل الاختلاف الكبير على شدة مجال مغناطيسي كبير مما قد يحتاج إلى مزيد من الدراسة. ويتطلب الاختلاف الواضح في القراءات المأخوذة من محطتين متجاورتين أخذ قراءة بينية في نقط وسيطة بينهما. وأنه من المرغوب فيه بشدة أن يلاحظ مشغل الجهاز هذا الاختلاف ويقوم بملء الفراغات فوراً.

يجب تسجيل بيانات عن الموقع وعن الزمن وعن القراءة في كل محطة وكذلك تسجيل أي معلومات طوبغرافية أو جيولوجية وتفاصيل عن أي مصادر للمغناطيسية منظورة أو مشتبه في وجودها. وبمجرد تخريط الشبكة بالفعل تخريطاً جيداً فإن دفتر الحقل يجب أن يحتوى على معلومات كافية عن الخطوط التي يجب أن توضع في الخرائط أو في الصور الجوية.

وفي آخر اليوم، يجب الانتهاء من حساب القراءات النهائية في المحطة التي استخدمت أولاً. وإذا تم تسجيل القراءات الحقلية يدوياً فإنه يصبح تدريباً جيداً أن تنقل عندئذ بيانات التصحيحات اليومية خلال زمن أخذ القراءات، إلى دفتر الحقل (field notebook) التي تحتوي تسجيلاً كاملاً لما تم انجازه في يوم العمل.

(٣,٤,٤) القيم النموذجية Standard Values

تسجل منحنيات التصحيح اليومية الطريقة التي بها تختلف شدة المجال المغناطيسي في محطة ثابتة، وتبسط معالجة البيانات في حالة أن تكون هذه المحطة الثابتة تشغل إحدى النقط وسط نقط المسح المغناطيسي. ويجب توزيع القيم النموذجية إلى هذه النقطة ويفضل أن يكون ذلك في نهاية أول يوم من أيام القياسات الحقلية. وإذا كان الاختلاف في القيم المقاسة تتراوح بين ٣٢٣٤٠ و٣٢٣٤١ نانوتسلا فإنه من المناسب اعتبارها ٣٢٤٠٠ نانوتسلا كقيمة نموذجية حتى وإن لم تكن هذه القيمة قيمة متوسطة أو تمثل قراءة اعتيادية (شائعة).

وما لم تكن منطقة المسح صغيرة حيث يمكن استخدام محطة مرجعية واحدة، فإنه يجب تأسيس عدد من المحطات الفرعية (فقرة ٤.١) وتحديد قيمهم النموذجية. والمبدأ القادم ينص على أنه إذا تساوت بالفعل قيم قراءات الماجنيتومتر مع "القيم النموذجية" عندئذ يجب على الأجهزة المتطابقة أن تسجل القيم النموذجية في كل المحطات الأساسية والفرعية عند هذه النقاط، وعندئذ يتم معالجة القراءات الحقلية بحيث تكون هذه هي حقيقة القيم لجميع نقاط الأعمال المساحية.

(٣,٤,٥) معالجة البيانات المغناطيسية Processing Magnetic Data

يجب أن تشغل المحطات الرئيسية (basis) أو المحطات الثانوية (المعاونة) (sub-bases) أثناء عملية المسح بفارق زمني لا يزيد عن ساعتين وذلك حتى يمكن أن تعالج البيانات حتى إذا فقد التسجيل اليومي (diurnal) أو إذا كان خطأ في اعتماده (proves faulty). ويوضح (الشكل رقم ٣.٦) الطريقة التي يمكن أن تستخدم في اعتماد التحكم اليومي، باستخدام أو بعدم استخدام منحنى التسجيل اليومي الذاتي (الأوتوماتيكي).

ويقدر التصحيح اليومي في أي وقت بأنه الفرق بين القيمة النموذجية في المحطة اليومية (diurnal station) وقيمة القراءة الفعلية المأخوذة في المحطة اليومية في أي وقت ولكن يمكن أن تصحح البيانات المغناطيسية بطريقتين مختلفتين مستخدماً هذه الحقيقة.

وأسرع الطرق لتصحيح التغير اليومي هو تحديد القيمة اليومية (diurnal value) المأخوذة في نفس زمن القراءات الحقلية ويطرح ذلك من القمية النموذجية ويتم ذلك بطريقة استكمال المنحنى بين النقط. ويمكن عندئذ إضافة القيمة النموذجية في المحطة اليومية للحصول على القيمة النموذجية في محطة القياس الحقلية. وإذا توافر الكمبيوتر فان جميع العمليات يمكن إجراءها ذاتياً (أوتوماتيكياً).

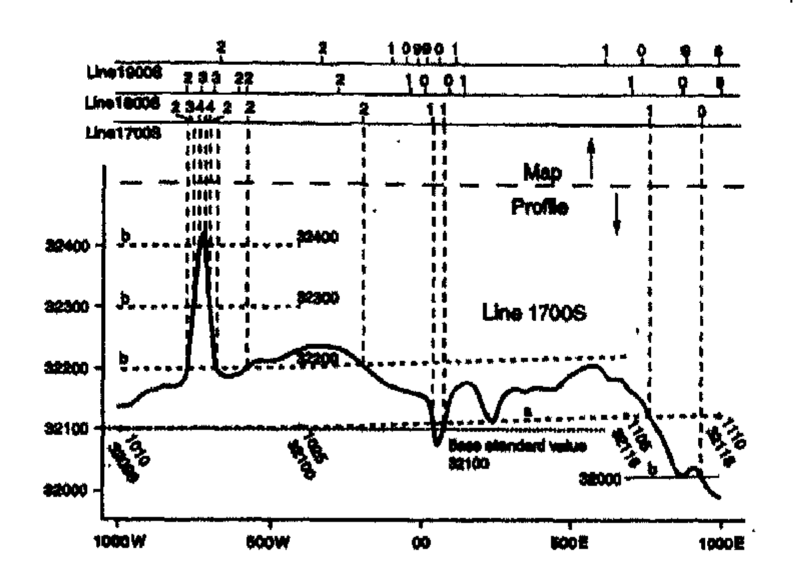
وتعتبر هذه الطريقة بسيطة من حيث المبدأ وتوفر قيم فردية في نقاط القياس الحقلي ولكنها تصبح مرهقة ومعرضة للأخطاء (error- prone) إذا كان المطلوب معالجة البيانات يدوياً من مئات المحطات كل ليلة. وإذا كان المطلوب فقط خريطة كنتورية فإن هذا يمكن أن يعتمد على قطاعات لقراءات غير مصححة كما هو ظاهر في (الشكل رقم ٣،٧). ويحتاج الأمر إلى أقل القليل من الحسابات لإظهار مباشرة الأخطاء في البيانات.

وحتى إذا لم يتوفر كمبيوتر للقيام بالأعمال الشاقة، فإن توقيع القطاعات المغناطيسية يجب أن يكون له الأولوية في العمل الحقلي حيث أن هذا يوفر أفضل الطرق لتقييم مغزى النتائج، أو بالأحرى، أفضل طرق تقييم التأثيرات النهائية اليومية والضوضاء.

وكمثال:

يظهر القطاع في (الشكل رقم ٣،٧) بوضوح كامل مع خطوط الكنتور ١٠٠ نانوتسلا، إن الاختلاف في المنحنيات اليومية التي تعتمد على الملاحظة المباشرة وتلك التي تعتمد على إعادة شغل المحطة في حدود ٥ نانوتسلا ليست ذات أهمية. ويوضح هذا الشكل أيضاً إلى أي مدى تترك هذه الخطوط الكنتورية للخصائص المغناطيسية ذات الدلالة غير المعروفة.

وإذا استخدم الكمبيوتر لحساب القيم المصححة في كل نقطة حلقية، فإن القطاعات يجب أن تظل تنتج ولكن عندئذ تكون مصححة أكثر منها بيانات أولية.



الشكل رقم (٣,٧). يوضح قطاع: خط كنتور يقطع عند قيمة ١٠٠ نانوتسلا كل فترة زمنية على قطاع غير سليم 1700 S، عن طريق المنحنى اليومي ومنحنيات التوازي. والقيم القياسية للخط المرجعي تساوى ٣٢١٠٠ نانوتسلا، وتتطابق النقاط التي عندها يقع المنحنى مع النقاط التي تقع على سطح الأرض حيث تصل القيم المصححة للمجال المغناطيسي ٣٢١٠٠ نانوتسلا أيضاً. وتعرف منحنيات التوازي (الخطوط المشرطة "a") بأنها النقط التي تختلف عندها القيم القياسية عن تلك الموقعة على الخط المرجعي اليومي بمقدار المضاعفات الصحيحة للرقم ١٠٠ نانوتسلا: خط الكنترول القاطع عند نقطة 1700 S والخطين المجاورين له. وتحتاج هذه القواطع الكنترورية فقط للتوقيع في خريطة، وبعضها يمكن حذفه عندما تكون ملتصقة ببعضها البعض.

(٣,٤,٦) التشويش في الأعمال المساحية المغناطيسية الأرضية

Noise in Ground Magnetic Surveys

عادة ما تتأثر القراءات المغناطيسية في المناطق المزدحمة بمجالات مغناطيسية شاردة (stray fields) ناشئة من قطع الحديد وقطع الصلب (ضوضاء حضارية cultural noise). وحتى إذا لم تشاهد هذه المواد فإن القطاعات المرسومة خلال الطرق عادة ما تكون

مشوشة جداً بالمقارنة بتلك المرسومة على هيئة قطاعات متوازية خلال المناطق المفتوحة والتي تبعد عن هذه الطرق بمسافة من ١٠ أو ٢٠ متراً. وحيث إن المصادر غالباً ما تكون صغيرة جداً ويمكن أن تكون مردومة بعمق متر من سطح الأرض فإن التأثيرات تكون شديدة التنوع.

إحدى وسائل التعامل مع مشكلة التشويش هو محاولة أخذ جميع القراءات بعيداً عن مصادر التشويش الظاهرة، ووضع ملاحظات في دفتر الحقل للمواقع التي لم يستطيع تجنبها.

والبديل، فإنه يمكن قبول معظم التواجد العالمي لمصادر التشويش الجديدة مع فلتره البيانات، ولإنجاح هذه الطريقة، فإنه يجب أخذ مزيد من القراءات أكثر من المطلوب في العادة وذلك لتحديد الشذوذ الجيولوجي الخالص (purely geological anomalies).

ولقد أصبحت هذه التقنية منتشرة مع زيادة استخدام مسجلات البيانات (data logger) التي لا تشجع أخذ ملاحظات وتدوينها ولكنها تتيح أخذ عدد كبير من القراءات مع معالجتها بأقل مجهود، ويتم إنجاز ذلك بسهولة كبيرة مع استخدام أجهزة "البخار القلوي" (alkali vapour) وأجهزة "الفلاكسجيت" التي تتميز باستمرارية عملية القياس.

ويجب أخذ جميع العوامل التي نوقشت في (الفقرة ١,٣,١٠)، والتي لها علاقة بأخذ القراءات بصفة مستمرة. والشرط الوحيد للإعفاء أن يتم رفع مساحي دقيق وكامل لشبكة مواقع المحطات كاملة ووصف مواقعها على الخريطة بدقة.

(٣,٥) التفسير المغناطيسي البسيط
Simple Magnetic Interpretation

يتيح الاستقراء الحقلي الفوري للبيانات المغناطيسية التعرف على المناطق البينية التي تحتاج قياسات إضافية وتحديد مواقعها وعلى ذلك يمكن إعادة زيارتها مباشرة أثناء العمل الحقلي بتكلفة قليلة.

ويحتاج الاستقراء الجيد تلك القطاعات التي تحتفظ بجميع تفاصيل القراءات الأصلية وكذلك يحتاج الاستقراء الجيد إلى الخرائط الكنتورية التي تتيح إمكانية تحديد الاتجاهات والأشكال. ولحسن الحظ فإن جهاز الكمبيوتر المتنقل يختزل الأعمال المتعلقة برسم خطوط الكنتور (بشرط إنزال البرامج اللازمة لذلك).

(٣,٥,١) أشكال الشذوذ المغناطيسي Forms of Magnetic Anomaly

يختلف شكل الشذوذ المغناطيسي بطريقة كبيرة مع اختلاف ميل المجال المغناطيسي الأرضي، وكذلك تبعاً للتغيرات في شكل جسم المصدر واتجاه التمغنط. يمكن إجراء مراجعة بسيطة للحصول على تقديرات عملية عامة للشذوذ الناشئ عن أي جسم ممغنط.

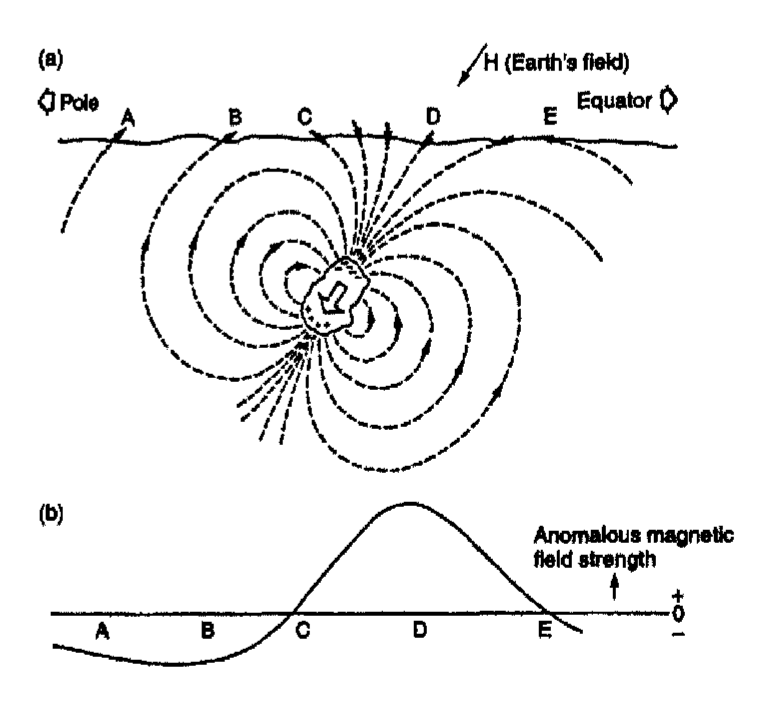
ويوضح (الشكل رقم ٣,٨ a) كتلة غير منتظمة تم مغنطتها بإدخالها في مجال مغناطيسي يميل بمقدار ٦٠ درجة تقريباً. وحيث أن اتجاه المجال المغناطيسي يحدد الاتجاه الذي يمكن أن يتحرك فيه القطب المغناطيسي الموجب، فإن تأثير المجال الخارجي يؤدي إلى تقديم توزيع الأقطاب المرئية.

ويدل خطوط القوى المتقطعة على المجال الثانوي الناشئ من هذه الأقطاب. ويمكن تحديد اتجاه المجال المغناطيسي على أساس قاعدة بسيطة تشبه الأقطاب المتنافرة.

إذا كان المجال الثانوي صغير، فإن اتجاهات كل من المجال الكلي ومجال الخلفية المغناطيسية ستكون متشابه، ولا يوجد مجال شاذ يمكن تعيينه بالقرب من المنطقة (C) والنقطة (E) (في الشكل رقم ٣,٨).

وسيكون الشذوذ المغناطيسي إيجابي بين هاتين النقطتين وسيكون سالباً لمسافة بعيدة خلفهما. وسيقع أقصى شذوذ مغناطيسي بالقرب من النقطة (D)، معطياً منحنى مغناطيسياً ذو قمة انحناء في اتجاه خط الاستواء المغناطيسي (الشكل رقم ٨,٣ b).

وعند خط الاستواء يمكن أن يكون المجال الكلي للشذوذ المغناطيسي سالباً حيث يتركز فوق الجسم (المسبب لهذا الشذوذ) ويكون له انحناءات جانبية موجبة في كل من اتجاه الشمال والجنوب، كما يمكن إثبات ذلك بسهولة بتطبيق الطريقة المذكورة في (الشكل رقم ٣,٨) للوصول إلى الوضع الذي يصبح فيه المجال المتولد أفقياً.



الشكل رقم (٣,٨). يوضح شذوذ حقلي كلي عند خطوط عرض متوسطة ناتج من مغنطة حثية. وتمثل (a) المجال الحثي. وتمثل (b) قطاع الشذوذ، كما اشتق من المذكور في المتن.

ولأن كل قطب مغناطيسي موجب يكون متوازناً بطريقة ما مع قطب سالب فإن محصلة التدفق المغناطيسي المتولدة في أي شذوذ مغناطيسي تساوي صفراً. وستلغي شدة

المجالات المغناطيسية المتولدة من القطب الموجب والقطب السالب فوق الأجزاء المركزية للسطح الممغنط بطريقة متجانسة.

ويمكن اكتشاف هذه الشدة عند الأحرف فقط ، بالمسح المغناطيسي. وقد تنتج أحياناً الأجسام الممغنطة بشدة عندما تكون مسطحة القليل من الشذوذ المغناطيسي أو أحياناً لا تعطي أي شذوذ.

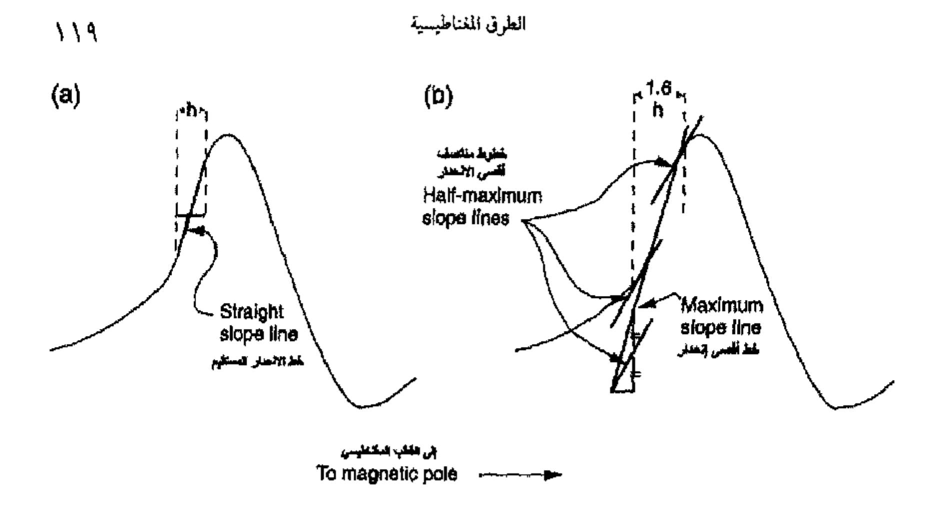
(٣,٥,٢) الطريقة المجربة لتقدير العمق (Rule – of Thumb) Depth Estimation

إن تقدير العمق لهو واحد من الأهداف الرئيسية للتفسير المغناطيسي. في (الشكل رقم ٣,٩ a) يبرز الجزء من منحنى الشذوذ المغناطيسي على الجانب الأقرب لخط الاستواء المغناطيسي والذي يعلوه التغير على شكل خطي في الغالب ، ويتأكد هذا الجزء بخط سميك.

وتعادل الأعماق حتى القمم المقطوعة بشكل مفاجئ للأجسام ذات الأشكال الكثيرة ، الامتداد الأفقي للقطاعات المطابقة للخط المستقيم بصفة تقريبية. وهذه الطريقة مجدية ولكن صعب تنفيذها والتحقق منها وهذا يرجع إلى أنه لا يوجد جزء مستقيم حقيقة في المنحنى وإن الاستقراء يعتمد تحقيقه على التوهم البصري.

وفي "طريقة بيتر" (Peter's method) الأكثر تعقيداً إلى حد ما ، فإنه يرسم مماس على المنحنى عن نقط الانحدار الشديد للمنحنى ، ومرة ثانية على الجانب الأقرب لخط الاستواء ، وترسم خطوط عند منتصف هذا المنحدر مستخدماً البناء الهندسي الموضح في (الشكل رقم ٣,٩ b).

ويكمن إيجاد النقطتين اللتين يقع عندهما مماسات خطوط منتصف الانحدار على منحنى الشذوذ ، بالعين المجردة أو باستخدام المسطرة المتوازية ، وتقاس المسافة الأفقية بينهما. وتقسم هذه المسافة على ١,٦ لتعطي قيمة العمق إلى قمة جسم المصدر بالتقريب.



الشكل رقم (٣،٩). يوضح تقدير العمق بطريقة بسيطة: (a) طريقة الخط المنحدر المستقيم: حيث تساوى المسافة التي تظهر فيها المتغيرات على شكل خطي تقريباً العمق حتى مستوى قمة الجسم (الهدف) المغنط. (b) طريقة بيتر: حيث تساوي المسافة بين نقطتي الفصل التي تمثل نقطتي تماس نصف المنحدر تقريباً 1.6 مرة العمق حتى قمة الجسم المغنط.

وتعتمد "طريقة بيتر" على دراسات نموذجية عملت على توضيح أن العامل الحقيقي يقع بصفة عامة بين 1.2 ، 2.0 بقيم تقترب من 1.6 التي عادة ما تكون ناتجة من أجسام رقيقة ولها انحدار شديد ولها امتداد كبير.

وعادة ما تكون النتائج شديدة الشبه بتلك النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام المنحدر المستقيم. وفي كلتا الحالتين فإنه يجب إما أن يقاس المنحنى من خلال خط عمودي على امتداد الشذوذ المغناطيسي أو أن تقدير العمق يجب أن يضرب (multiplied) في قيمة جتا (جيب تمام cosine) زاوية التقاطع (الشكل رقم ٣،١٠).



الشكل رقم (٣,١٠). يوضح تأثير الامتداد على تقدير العمق باستخدام الشذوذ المغناطيسي. يجب ضرب قيمة العمق المقدر على القطاع المسجل على طول خط المقطع (وهو الخط الـذي يمثل مجموعة مستمرة على خطوط مستقيمة تقريباً) في قيمة جيب تمام الزاوية (A) الناشئة مع الخط المرسوم عمودي على خطوط كنتور المغناطيسية. وقد أخذ هـذا المثال من خريطة مغناطيسية جوية (من منطقة شمال كندا) ولكن يمكن تطبيق نفس المبدأ على المسح المغناطيسي الأرضي.

الفصل الرابع

المسح الإشعاعي
RADIOMETRIC SURVEYS

ترصد درجة إشعاعية الصخور باستخدام "أجهزة القياس الوميضي للأشعة جاما" (gamma-ray scintillometers) و"أجهزة القياس الطيفي لأشعة جاما" (gamma-ray spectrometers). وعلى الرغم من أن معظم أجهزة القياس الإشعاعي قد تطورت كما يقال من خلال البحث عن "اليورانيوم" إلا أنها قد تطورت أيضاً من خلال استخدامات أخرى مورست لاحقاً.

ومن بين هذه الاستخدامات إعداد الخرائط الجيولوجية الإقليمية، وإعداد القطاعات التي تعتمد على مضاهاة الصخور، والاستكشاف لبعض المعادن الصناعية (الاصطناعية)، وكذلك من خلال محاولات التعرف على وجود خامات الفوسفات في الموقع.

وقد تستخدم نفس هذه الأجهزة لتتبع حركة الشوائب الإشعاعية الشحيحة التي أدخلت بتعمد إلى المياه الجوفية. وقد تستخدم هذه الأجهزة أيضاً لتقييم المخاطر الصحية الناشئة من المصادر الإشعاعية الطبيعية وكذلك من المصادر المصطنعة. إن أجهزة كشف غاز الرادون (Radon gas detectors) الذي يرصد جسيمات "ألفا" لها بعض الاستخدامات الاستكشافية ولكن تظل التطبيقات الصحية العامة هي الأكثر أهمية.

(٤,١) الإشعاع الطبيعي
Natural Radiation

ينتج الاضمحلال (decay) الإشعاعي الذاتي جسيمات "ألفا" (Alpha)، و"بيتا" (Beta) و"جاما" (Gamma) الإشعاعية. وتعتبر أشعة ألفا وبيتا جسيمات في حقيقتها، بينما تعتبر أشعة "جاما" موجات الكترومغناطيسية عالية الطاقة والتي تخبرنا عنها نظرية "الكم"، والتي يمكن التعامل معها كأنها مكونة من جسيمات.

(٤,١,١) جسيمات ألفا Alpha Particles

يتكون جسيم ألفا من بروتونين ملتصقين معاً باثنين من النيوترونات لتكوين نواة مستقرة لعنصر "الهيليوم". إن انبعاث جسيمات "ألفا" يعتبر من العمليات الرئيسية للتحلل الإشعاعي (radioactive decay)، وينتج عنه نقص مقداره أربعة في الوزن الذري ونقص مقداره اثنين في العدد الذري. ولجسيمات ألفا طاقات حركية (kinetic) كبيرة ولكن سرعان ما تخفت بمجرد التحامها مع نواة لذرة أخرى.

وعند التعرض لطاقة حرارية تكتسب هذه الجسيمات "الكترونين مداريين" (orbital electrons) لتصبح غير مميزة عن ذرات الهيليوم الأخرى. وقبل ذلك فإن متوسط المسافة التي يمكن أن تخترقها هذه الجسيمات في الصخور الصلبة تقدر بأجزاء من المليمتر الواحد.

(٤,١,٢) جسيمات بيتا Beta Particles

جسيمات "بيتا" هي إلكترونات لفظت من النواة الذرية (نواة الذرة). وتختلف هذه الجسيمات عن الإلكترونات الأخرى فقط في أن لها طاقة حركية أعلى، وذلك فإنها توقف لكي يمكن التعرف عليها بعد أبطأها عن طريق الالتحامات المتعددة. وتفقد الطاقة بسرعة كبيرة عند الالتحام بإلكترونات أخرى. ويقاس متوسط المدى لجسيم بيتا بالسنتيمترات في كل من المواد الصلبة والسوائل.

(٤,١,٣) أشعة جاما Gamma Radiation

أشعة "جاما" هي موجات الكترومغناطيسية لها ترددات عالية لدرجة يكون من الأفضل اعتبارها مكونة من جسيمات، تعرف بالفوتونات (photons)، لها طاقة تتناسب طردياً مع الترددات. وتعتبر قدره الطاقة لأشعة "جاما" بصفة عامة أنها تبدأ من حوالي 0.1 MeV (بتردد يصل إلى حوالي 0.25×10^{20} Hz).

ولأنها متعادلة كهربياً، فإن الفوتونات تخترق الصخور بعمق أكثر بكثير من كل من جسيمات "ألفا" و"بيتا"، وعلى ذلك فإنها أكثر الأشكال الإشعاعية فائدة للقياسات الجيوفيزيائية. وعلى الرغم من ذلك فإن ٩٠٪ تقريباً من فوتونات أشعة جاما المكتشفة فوق أسطح الصخور تأتي من عمق سطحي يتراوح ما بين ٢٠- ٣٠ سم، وحتى تلك المكتشفة فوق التربة فإن ١٠٪ تأتي من عمق ٥٠سم من سطح التربة.

وتتأثر المياه بشكل متعادل خلال متر واحد من تشرب حوالي ٩٧٪ من الإشعاع المخترق خلاله. ومن الناحية الأخرى، سيتم امتصاص ١٠٠متر مكعب من الهواء فقط حوالي نصف تيار أشعة جاما.

ويعتمد "الوهن" (الاضمحلال) (attenuation) على التردد. فمثلاً إذا كان الإشعاع عالي التردد، وله طاقة إشعاعية أكثر فسيكون له قدرة عالية على الاختراق. وتمتص نصف طاقة "تدفق" (flux) مقدارها (1 MeV) في حوالي ٩٠متراً هواء ولكن تأخذ حوالي ١٦٠متراً لامتصاص نصف طاقة "تدفق" مقدارها (3 MeV). وفي كلا الحالتين فإن هذه الأرقام تدل ضمناً على أن الامتصاص الجوي يمكن تجاهله بصفة عامة عند القيام بالأعمال المساحية الإشعاعية الأرضية.

(٤,١,٤) النشاط الإشعاعي للصخور Radioactivity of Rocks

تعطي أشعة "جاما" معلومات عن وجود عدم استقرار للأنوية الذرية. ومتوسط عدد التحللات الإشعاعية في زمن ما سيتناسب طردياً مع عدد ذرات العنصر الغير مستقر المتوفر في الصخور. ومعدل النقص في كتلة مادة إشعاعية ما، عندئذ ينصاع "لقانون الأس الدليلي" (exponential law) الذي يعتمد على فترة نصف العمر (فقرة ١,١,٦).

يمكن أن تتواجد عناصر ذات أنصاف أعمار قصيرة لأنها تكونت في سلسلة التحلل التي نشأت مع مصاحبة لنظائر مشعة طويلة العمر جداً، والتي أحياناً ما يطلق عليها مصطلح "بدائي" (primeval). وتتركز هذه النظائر المشعة البدائية بصفة عامة في "الصخور النارية الحامضية"(acid igneous rocks) وفي الرواسب التي ترسبت على هيئة متبخرات أو ترسبت في بيئة مختزلة. والنظائر المشعة البدائية هي ^{40}K، ^{235}U، ^{238}U. والعناصر الأخرى مثل ^{48}Ca، ^{50}V و ^{58}Ni، إما أن تكون نادرة أو فقط ضعيفة الإشعاع.

(٤,١,٥) سلسلة التحلل الإشعاعي Radioactive Decay Series

يوضح الجدول رقم (٤,١) نظم التحلل الإشعاعي الرئيسي وفترات نصف العمر لبعض العناصر. بتحلل عنصر ^{40}K الذي يكون حوالي 0.0118% من البوتاسيوم الموجود طبيعياً، في خطوة وحيدة، إما بانبعاث جسيم "بيتا" لتكوين ^{40}Ca، أو باكتساب ألكترون (k- capture) لتكوين ^{40}Ar. وتترك نواة ذرة الأرجون في حالة "مثارة" (excited) ولكنها تستقر بانبعاث طاقة تقدر بـ (1.46 Mev) من الفوتون. وفترة نصف العمر للعنصر (^{40}K) هي ((1470 m.y.) للتحلل بانبعاث جسيم "بيتا" و11 m.y. للبوتاسيوم الأسر (k- capture)).

تتحلل "العناصر المشعة البدائية" (primeval radioisotopes decay) الهامة إلى أنوية هي بدورها غير مستقرة. وهناك أكثر من طريقة محتملة للتحلل (مثل طريقة البوتاسيوم المشع) لتصبح سلسلة التحلل واضحة التعقيد. وفى حالة عنصري اليورانيوم والثوريوم فإن جميع مراحل التحلل تنتهي بالنظير المشع المستقر للرصاص.

ويوضح الجدول رقم (٤,١) سلاسل التحلل الإشعاعي لكل من ^{238}U، ^{232}Th. ويكون ^{235}U المشع 0.7114% فقط من العنصر المتواجد طبيعياً، وعلى الرغم من أن نشاطه الزائد يسمح له بتكوين 5% تقريباً من النشاط الكلى لليورانيوم، إلا أنه يمكن تجاهل هذه النسبة العالية في الأغراض العملية.

الجدول رقم(٤,١). الاضمحلال الطبيعي الإشعاعي لكـــل مـــن اليورانيـــوم ٢٣٨ والثوريـــوم ٢٣٢ والبوتاسيوم ٤٠.

الأم	نوع الاشعاع	البنت	نصف العمر	طاقة جاما (MeV) والنسبة المئوية المعطاة†
^{٢٣٨}U	α			0.09(15) 0.6(7) 0.3(7)
^{234}T	α			
^{234}P	β			
^{234}U	α			
^{٢٣٨}Th	α			
^{٢٣٨}Ra	α			
^{٢٣٨}Rn	α			
^{٢٣٨}Po	α			
^{٢٣٨}Pb	β			
^{٢٣٨}Bi	β			
^{٢٣٨}Po	α			
^{٢٣٨}Pb	β			
^{٢٣٨}Bi	β			
^{٢٣٨}Po	α			
^{٢٣٨}Th	α			
^{٢٣٨}Ra	β			
^{٢٣٨}Ac	β			
^{٢٣٨}Th	α			
^{٢٣٨}Ra	α			
^{٢٣٨}Rn	α			
^{٢٣٨}Po	α			
^{٢٣٨}Pb	β			
^{٢٣٨}Bi	β			
^{٢٣٨}Po	α			
^{٢٣٨}Bi	α			
^{٢٣٨}Tl	β			
^{٢٣٨}K	β (89%)			
	K (11%)			

وبدون إبداء الأسباب فإن جميع مراحل التحلل الإشعاعي تكون مصحوبة بانبعاث ظاهر لأشعة "جاما". ففي المرحلة الأولى من التحلل الإشعاعي لعنصر ^{232}Th يستلزم فقط نشاطا إشعاعيا لأشعة جاما في السلسة تأتي من تحلل عنصر ^{208}Tl بالقرب من النهاية. هذا التحلل يكون مصاحباً لانبعاث طاقة تقدر بـ (2.615 Mev) من الفوتون، لتأتي معظم الطاقة الإشعاعية من مصدر قاري.

وفي سلسلة ^{238}U يبرز عنصر ^{214}Bi بإعداد وطاقات أشعة جاما الفوتونية المتولدة. وتؤخذ الطاقة عند (1.76 MeV) كعلامة لتواجد اليورانيوم، ولكن نظير الرادون الغازي (^{222}Rn) الذي يسبق العنصر (^{214}Bi) في السلسلة، له فترة نصف عمر تقدر بأربعة أيام تقريباً، وعلى ذلك فإنه يمكنه أن يتشتت بعيداً بطريقة سريعة جداً عن مصدر اليورانيوم الأولي. التشتت الغازي له تأثير أقل بكثير في تحلل "الثوريوم" حيث أن فترة نصف العمر لغاز الرادون أقل من دقيقة واحدة.

(٤,١,٦) التوازن الإشعاعي Radioactive Equilibria

إذا وجدت كمية كبيرة من النظير المشع "البدائي" (primeval)، وإذا ظلت كل منتجات العناصر المشتقة (doughter) في نفس مكان تكوينها، فإن التوازن في آخر الأمر يتأسس بحيث يخلق نفس عدد الذرات في كل عنصر إشعاعي في وقت معين. فقط يتغير تركيزات اثنين من مشتقات (عناصر) النهاية في سلسلة التغير.

في توازن التحلل الإشعاعي، يفقد كل عنصر (مشتق) من السلسة كتلة ما، بنفس المعدل، تساوي في كل حالة كتلة العنصر الموجود مضروباً في "ثابت التحلل الإشعاعي "(decay constant) الملائم. وعندئذ تتناسب عكسياً كتلة التوازن مع ثابت التحلل الإشعاعي (decay constant). وإذا تواجد عنصر ما بصورة أكثر أو أقل مما يحتاجه للتوازن، فسيصبح التحلل الإشعاعي أسرع أو أبطأ من معدل التوازن حتى يعاد استقرار التوازن.

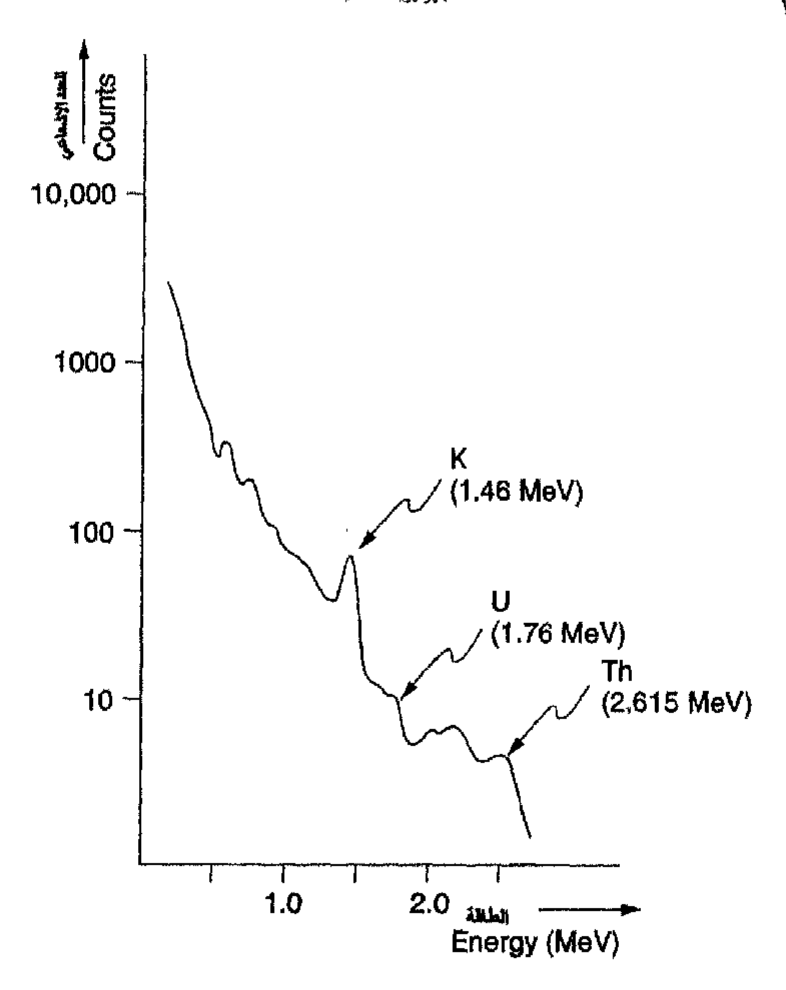
يمكن أن يفقد التوازن إذا كان للمنتجات الغازية أو منتجات "نصف الذائبة" لها "فترات نصف عمر" (half – lives) طويلة بشكل كاف تسمح لهم بالانتشار قبل تحللها إشعاعياً. إن إطلاق (انبعاث) غاز الرادون من خامات اليورانيوم يؤدي إلى فقد التوازن بشكل ملحوظ.

ويعزى خلفية المنحنى الذي تتركب عليه قمم المنحنيات البارزة (peaks) إلى الإشعاع الأرضي والكوني (وأغلبه من الشمس) "المبعثر" (scattered). ويمكن لفوتونات أشعة جاما أن تتبعثر بثلاث طرق. فيمكن أن تنتج الفوتونات عالية الطاقة (الكونية) والتي تمر ملتصقة بأنوية الذرة، زوجاً من الإلكترون – بيزتروم، وتتداخل البيزوترومات سريعاً مع الإلكترونات الأخرى لتنتج مزيدا من أشعة جاما.

وفي مستويات الطاقة الأكثر انخفاضاً، يمكن أن يطلق شعاع جاما الكترون مرتد من الذرة (تبعثر كومبتوني). وتنتقل بعض الطاقة إلى الالكترون وتستمر الطاقة المتبقية في الانتقال على هيئة فوتون منخفض الطاقة. وفي مستويات الطاقة الأقل، فإنه يمكن للفوتون أن يطلق الكترون من ذرة ما إما عن نفسه فإنه ممتصاً (absorbed) كاملاً "لتأثير فوتو الكتروني" (photo electric effect)، ويمكن أن يكون هناك صعوبة لإيجاد المصدر الأولي لشذوذ "اليورانيوم" (وقد يكون في الحقيقة هو ^{214}Bi).

(٤,١,٧) طيف أشعة جاما الطبيعية Natural Gamma – Ray Spectra

تتراوح أشعة جاما (γ) الطبيعية بين الأشعة الكونية بطاقات تصل إلى أكثر من (3 Mev)، وتهبط حتى طاقة الأشعة السينية. ويوضح الشكل رقم (٤,١) النموذج المقاس لطيف أشعة جاما. وتتطابق قمم المنحنيات (peaks) الفردية مع أحداث تحلل إشعاعي معين، بينما تقع الطاقة لكل "فوتون" في مكان ما خلال مدى محدود يمكن تحديده ببطاقات حركية نووية في زمن التحلل الإشعاعي أو يمكن تحديده بأخطاء في القياس.



الشكل رقم (٤,١). يوضح منحنى طيف أشعة جاما. لاحظ أن مقياس الرسم الرأسي (أرقام العد الإشعاعي) قد كتبت بمقياس لوجاريثمي.

(٤,٢) أجهزة الكشف الإشعاعي
Radiation Detectors

اعتمدت أجهزة "الكشف الإشعاعي" القديمة على قابلية الإشعاع لتأيين (ionize) غاز ما تحت ضغط منخفض وتحفيز (initiate) وإطلاق (discharges) الكترونات بين

أقطاب كهربية (electrodes) يحتفظ بها (maintained) تحت فرق جهد عال. وهذه تسمى "عدادات جيجر – مولر" (Geiger – Muller counters) وقد عفى عليها الزمن الآن.

وهي تستجيب بصفة أساسية إلى جسيمات ألفا وتعاني من طول الفترة الزمنية (الفترة الميتة) بعد كل قياس، التي خلالها لا يستطيع الجهاز الكشف عن نشاط إشعاعي جديد.

(٤,٢,١) أجهزة الكشف الوميضي Scintillometers

تنتج أشعة جاما وميض ضوئي عندما تمتص بطريقة ضوئية الكترونية (Photoelectrically) أو (كهروفوتوجرافية) في بلورات أيوديد الصوديوم. ويضاف كميات صغيرة من التاليوم إلى البورات، التي تسمى في هذه الحالة "تاليوم منشط". ويمكن الكشف عن الضوء عن طريق "أنابيب المضاعفة الضوئية" (photomultiplier tubes (PMTs) التي تؤدي إلى تحويل الطاقة إلى تيار كهربي.

ويستغرق التتابع الكامل لهذه العملية بضعة أجزاء من الثانية (microseconds) وتجرى التصويبات للزمن الميت (dead time)، الذي يحسب بطريقة أوتوماتيكية (automatically) في بعض الأجهزة، فقط عند الحاجة في حالة معدلات العد (count) العالية جداً.

ويتكون جهاز الكشف الوميضي (Scintillometer) من بلورة، وواحدة أو أكثر من أنابيب المضاعفة الضوئية (PMTs)، ومصدر كهربي (الذي يجب أن يوفر عدة مئات من الفولتات اللازمة لأنابيب المضاعفة الضوئية، وبعض "دوائر العد" (counting circuitry. وقد تظهر النتائج بشكل رقمي ولكن عادة ما يعبر عنها بإبرة على جهاز "قياس المعدل الإشعاعي" (analogue rate meter).

وبعض الأجهزة تحدث طقطقة مسموعة (audible click) في كل مرة تكتشف فيها فوتونات جاما (gamma photon)، أو تزود الأجهزة بجرس ينطلق عندما يزيد

معدل العد (count rate) عن الحد الأدنى الذي تم ضبط الجهاز عليه، وعندئذ لا يكون هناك حاجة للاستمرار في مراقبة المؤشر.

يعتبر التحلل الإشعاعي عملية إحصائية. يتم في هذه العملية قياس معدل عدد الوقائع (events) الظاهرة في منطقة ما خلال فترة زمنية محددة وثابتة. ولكن قد يكون هناك بعض التغيرات حول متوسطها (mean) الحسابي. ويمكن التحكم في المعدل المستمر (continuous averaging) لجهاز قياس المعدل (rate meter) باستخدام ثابت الزمن، وإذا كان هذا الزمن قصير جداً فإن الإبرة ستكون دائمة الحركة وسيصعب أخذ القراءات.

وإذا كان الوقت طويل جداً، فستكون الاستجابة بطيئة ويمكن التغاضي في هذه الحالة عن الشذوذ المحدود. وعندما تستخدم الشاشة الرقمية (digital display)، فإنه يختار زمنا ثابتا للعد والذي يجب أن يكون بطول كاف لإعطاء نتيجة يمكن الاعتداد بها (فقرة ٤،٣،١).

وتعتمد حساسية "جهاز القياس الوميضي" (scintillometer) بشكل كامل تقريباً، على حجم البلورة حيث أن البلورات الكبيرة الحجم تسجل عدد قياسات أكبر. وهكذا فإن معدلات العد (count rates) ليست مطلقة بل تعتمد على الجهاز وعلى البلورة المستخدمة فيه. وتصمم كثيراً من الأجهزة لتكون ملائمة لمختلف أحجام البلورات، بحيث يمكن اختيارها على أساس كل من التكلفة، والوقت المتاح لإجراء المسح الإشعاعي، ودرجة الدقة المطلوبة.

ويجب أن تعطي الأجهزة المتشابهة والمزودة ببلورات متشابهه، قراءات متشابهه تقريباً في نفس المواقع. وبالرغم من ذلك فإن الأمر يحتاج إلى مراجعة دقيقة، ويرجع ذلك إلى أن تأثير التلوث الإشعاعي المحيط بالبلورة قد يسبب قراءة بشكل مختلف. ويحتمل أن تسجل "أجهزة قياس الوميضي" (Scintillometers) المختلفة "معدلات عد" (count rates) مختلفة وذلك يرجع عادة إلى تغليف البلورة بحيث تكشف عن الإشعاع

من اتجاه واحد فقط، وحتى الأجهزة التي هي من نفس النوع يمكن أن يكون لها فتحات مختلفة.

وإذا كان من الضروري الحصول على بيانات إشعاعية بغرض المقارنة فإنه يمكن استخدام مصدر متنقل للأشعة وذلك للمعايرة الميدانية، كما يجب مراجعة مستوى تغليف البلورة أيضاً. وتكون هذه المقارنات لها قيمتها فقط بشكل قاطع في حالة نوعية خاصة لطاقة أشعة جاما المستخدمة في المصدر (والتي عادة ما تكون منخفضة بشكل ملحوظ).

(٤,٢,٢) أجهزة التحليل الطيفي لأشعة جاما Gamma – Ray Spectrometers

يمكن تقدير طاقة فوتون جاما (gamma-photon) التي ينتج عنها "حدث" (event) وميضي وذلك في حالة إرفاق "محلل ارتفاع النبضة" (pulse-height analyser) في "نظام PMT الدائري" (PMT circuitry).

ويمكن عندئذ إحصاء الوقائع التي تحدث ضمن طاقات لها نوافذ (windows) طاقة محددة من قبل أو تلك التي تقع فوق بدايات طاقة سبق اختيارها على أن يجرى ذلك كل على حدى. ويمكن مشاهدة تيار أشعة جاما كاملاً على هيئة سلسلة من النوافذ الضيقة المتجاورة للحصول على منحنى مشابه لذلك المنحنى الذي يظهره الشكل رقم (٤,١).

وتحديداً، يجب حفظ (reserved) مصطلح "أجهزة قياس الطيف" (الأجهزة الطيفية spectrometer) حيث يشير ذلك المصطلح إلى الأجهزة ذات 256 قناة أو أكثر، والتي يمكن أن تسجل طيفاً كاملاً، إلا أنه في الواقع العملي يمكن تطبيق هذا المصطلح على أي جهاز "متعدد القنوات" (multichannel) له قدرة على "تمييز الطاقة" (energy discrimination) بدرجة ما.

وعادة ما يكون هناك أربعة قنوات فقط، واحدة للعد الكلي، وواحدة لكل من "قمة المنحنى" (المنقارية) (peak) (^{208}Ti) عند (2.62 Mev) (للثوريوم)، وللقمة ^{214}Bi عند

(1.76 Mev) (لليورانيوم)، و للقمة ^{40}K عند (1.46 Mev) (للبوتاسيوم). ويمكن أن تمتد نوافذ تلك القمم (peaks) من (2.42 Mev) إلى (2.82 Mev)، ومن (1.66 Mev) إلى (1.86 Mev)، ومن (1.36 Mev) إلى (1.56 Mev) على التوالي (على الترتيب). ويمكن عندئذ تقدير تركيزات "أصل العناصر" (parent elements) الثلاثة جميعاً، مؤكداً أن العناصر المشعة الأولية في حالة توازن مع مشتقاتها المنتجة (daughter products).

(٣,٢,٤) نسبة التقشر Stripping Ratios

ولتقدير نسبة شيوع (abundances) كل من الثوريوم، واليورانيوم، والبوتاسيوم من قراءات جهاز "قياس الطيف" (spectrometer)، فإنه يجب إجراء التصويبات الخاصة بأشعة جاما "المبعثرة" (scattered) من بين النطاقات الأخرى من الطيف. ويجب تصويب "قمة المنحنى" (peak) للثوريوم والخاص بكل من "الأشعة الكونية" (cosmic radiation) وأيضاً الخاص بالأشعة (2.43 Mev) الناشئة من (^{214}Bi) في سلسلة تحلل اليورانيوم، الذي يتداخل في نافذة "الثوريوم" شائعة الاستخدام. ويجب تصويب عد (count) اليورانيوم من أجل الثوريوم، كما يجب تصويب عد (count) البوتاسيوم من أجل الثوريوم واليورانيوم. وتعرف عمليات التصويب هذه بعملية الانتزاع أو "بعملية التقشر" (Stripping).

وتختلف عوامل الانتزاع أو التقشر (Stripping factors) من كشاف جهاز إلى كشاف آخر (detector)، وذلك باختلاف حجم البلورة مبدئياً. وهذا مشروح في كتيب تشغيل الجهاز. وفي بعض الحالات يمكن تطبيقه بتركيب دوائر يمكن عن طريقها. إظهار القراءات الصحيحة. ويفترض أن يكون هناك توازن (equilibrium) عندما تجرى التصويبات أوتوماتيكياً (ذاتياً)، وإذا لم يتوافر ذلك فستكون الاستقراءات خاطئة. ويكون من الأفضل بصفة عامة تسجيل معدلات العد الحقيقي في الموقع، ثم تجرى التصويبات لاحقاً.

وتتغير خصائص دوائر القياس ببطء مع الزمن (وأيضاً تتغير بمعدل أكثر مع الحرارة) ويحتاج وضع "نوافذ جهاز قياس الطيف" (spectrometer windows) أو بدايات المنحنى (thresholds)، إلى المراجعة المنتظمة، مستخدماً مصادر متنقلة (portable sources) لإنتاج أشعة جاما ذات "الطاقة المنفردة" (single energy).

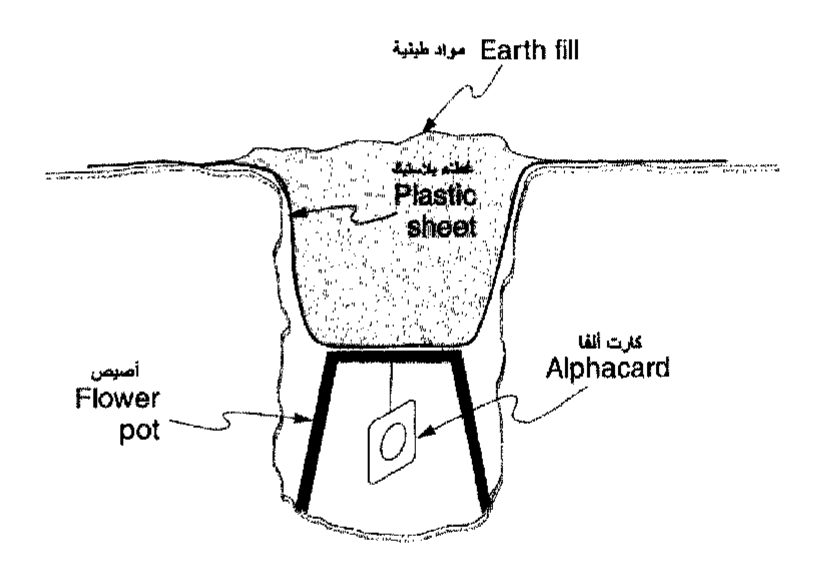
ويحتاج الأمر إلى صيغة إضافية "للمعايرة" (calibration) عندما تتحول نتائج "جهاز قياس الطيف" (Spectrometer) مباشرة إلى تركيزات عناصر مشعة. وقد تأسست مراكز "للمعايرة" في كل من الولايات المتحدة، وكندا واستراليا وفى بعض البلاد الأخرى، حيث يمكن مراجعة مستوى أداء الجهاز على "منصات ثابتة"(concrete pads) تحتوى تركيزات معروفة لمختلف العناصر المشعة. وتسمح هذه المنصات الصفرية (Null) pads بتقدير "خلفية القياس" (background).

وتتوافر المنصات المتنقلة في بعض البلدان. أما إذا كان من الضروري استخدام عدة أجهزة للقياس في موقع مساحي واحد (single survey)، فإنه من الحكمة، حتى وإن كانوا جميعاً قد تم معايرتهم، أن يتم مقارنتهم عملياً في هذا الموقع، قبل محاولة اختصار النتائج في قراءات مكافئة مشتركة. ويجب وصف القواعد التي تم على أساسها إنجاز هذا (العمل السابق) وذلك لفائدة المشتغلين لاحقاً.

(٤,٢,٤) رصد جسيمات ألفا Alpha – Particle Monitors

يمكن تقدير "محتوى الرادون" (Radon content) المتواجد في غازات التربة وذلك عن طريق رصد نشاط جسيمات "ألفا"، التي قد تتواجد حتى في مناطق خالية من الشذوذ الواضح لأشعة جاما. وينتشر (diffuses) غاز الرادون بسهولة (readily) خلال الصخور والتربة. ويمكن أحياناً الاستدلال على تواجد مختلف مكامن تمعدنات من اليورانيوم بهذه الطريقة، على الرغم من أن تحديده قد يكون صعباً حتى الآن. ويسبب غاز الرادون مخاطر صحية في بعض المواقع، وخاصة في الأقبية والمواقع المغلقة (cellars) مما قد يستلزم رصده لهذا السبب.

وأحد أشكال الرصد هو استخدام ما يسمى بـ "الفاكارد" (alphaCard) وفيه يتم تركيب غشاء معدني رقيق على إطار حول شريحة مقاس ٣٥ مم، والتي يمكن أن يتجمع عليها منتجات مشتق الرادون. وفي أعمال الرصد المساحية الحقلية، يتم تعليق الـ "الفاكارد" (alphacard) في أصيص زهور مقلوب أو في وعاء شبيه ثم يوضع في حفرة عمقها حوالي0.5 m. وتغطى الحفرة بغطاء من البلاستيك ثم تسكب التربة عند القمة حتى تستوي مع سطح الأرض (الشكل رقم ٤،٢).



الشكل رقم (٤،٢). يوضح كشاف (مجس) للإشعاع "الفا كارد" يظهر عند فتحة الكشاف.

ويجب أن يكون غطاء البلاستيك كبير حتى يمكن فرش أطرافة على الأرض حول الحفرة ويمكن تركه بما تحمله من التربة، وفي نفس الوقت يمكن إزالة (استخراج) "الألفاكارد". وتترك الحفرة مغطاه لمدة ١٢ ساعة على الأقل. وهذه الفترة كافية لتثبيت التوازن حيث أن أي فترات دفن أطول لا تغير في القراءة. وفي تطبيقات الصحة العامة،

فإن "الكارد" ببساطة يترك لمدة ١٢ ساعة في المنطقة المراد رصدها. وعندئذ ينزع "الكارد" ويوضع في جهاز خاص به قارئ (reader) لإشعاع ألفا.

تحتوى الأنواع الأخرى من أجهزة الكشف عن جسيمات ألفا، على سائل غروي فوتوجرافي يمكنه أن يتأثر كيميائياً بالأشعة المتأنية، وعلى وحدات مغلقة تحفظ فيها القراءات والبيانات في مبنى منفصل. وللاستخدام الاستكشافي، فإن هذه الوحدة يجب أن تدخل في حفرة شبيهه بتلك الحفر المحفورة لجهاز "الألفا كارد" (alphacards).

(٤,٣) المسح الإشعاعي
Radiometric Surveys

تميل الأعمال المساحية الإشعاعية الأرضية إلى أن تكون "عملية محبطة" (frustrating operation). ويتسبب "التأثير الغطائي" (shielding effect) بسهولة جداً حتى ولو بطبقات رقيقة منَ الصخور أو التربة، في عدم إمكانية الكشف عن إشعاعية المعادن في الصخور التي تظهر على السطح على هيئة بقع محدودة. وعلى ذلك فليس من الحكمة الاعتماد فقط على محطات موضوعة على مسافات متساوية على خطوط المقاطع، حيث يحتاج الخبير (الملاحظ) الحقلي إلى أن يكون ملماً أكثر من المعتاد بالبيئة المحيطة وتوقعاتها.

(٤,٣,١) زمن القراءة Reading Times

يمكن الحصول فقط على بيانات لقياسات إشعاعية دقيقة عن طريق المكوث في المحطات لوقت كاف لإجراء الإحصائيات المختلفة التي تؤدي إلى حساب متوسط القراءات. وسيتوقف ما يتحقق على مستويات "العد" نفسها ولذلك يجب أن تتحدد بإجراء تجارب حقيقية. وتساوي نسبة الخطأ الإحصائي حوالي (100/√n) حيث n هي عدد مرات العد، وهي تمثل حوالي ٣٠٪ لعشرة عددات وفقط ١٪ لأجل ١٠٠٠٠. ومن غير المحتمل أن تكون الفترة الزمنية المناسبة جداً للعد الكلي للقراءات كافية لأخذ القراءات كاملة على قنوات K، U، Th.

توجد نقط قليلة في الوقت الضائع للحصول على بيانات إحصائية دقيقة وذلك في مناطق قد تكون معدلات "العد" فيها منخفضة وهي ليست ذات أهمية على أي حال. ويمكن أن تغطي أرضية المناطق بشكل كاف عن طريق السير البطيء حاملين جهاز قياس معدل الإشعاع. ويجب أن يكون معدل التقدم في السير محققاً لهذا الشرط: ألاّ يقطع أضيق أتساع للمصدر المراد قياسه في زمن مساوي "لثابت الزمن المختار".

وحتى عندما يستخدم "جهاز قياس الطيف" (spectrometer)، فإنه يستخدم عادة لتسجيل "العد" الكلي فقط في أول تطبيق، محتفظاً بمزيد من الوقت المستهلك في القراءات الطيفية للمناطق ذات العد الكلي الشاذ. وهناك بالطبع خطورة في هذا الموضوع حيث إنه من الممكن أن يقل تركيز أحد العناصر المشعة وتزيد عناصر أخرى في نفس المنطقة.

(٤,٣,٢) تحليل القياسات الإشعاعية **Radiometric Assays**

وإذا كان سطح مكشف الصخر متاح فإنه يمكن استخدام "جهاز قياس أشعة جاما" للتحليل الكمي لكل من الثوريوم، واليورانيوم، والبوتاسيوم. ويجب أن يكون الصخر جافا حتى لا يصبح الامتصاص بالرطوبة على السطح أو تحت السطح أحد العوامل المؤثرة في عملية التحليل.

ويجب أن تأخذ المشاهدة وقت طويلاً كافياً لجعل التغيرات الإحصائية المتذبذبة سلسلة هادئة تماماً (smoothed out)، وهذا معناه عملياً تراكم ١٠٠٠ "عدة" على الأقل. تأخذ كل "عدة" بضعة "ميكروثانية" (microseconds) وعند 10000 cps يصبح الجهاز متوقف (ميت) لعدة أعشار من "الملي ثانية" (milliseconds) في كل ثانية. وعندئذ تصبح التصويبات واجبة لهذا الوقت "الميت" (dead) عندما يعمل بالفعل مع المواد المشعة.

وتعين تركيزات العناصر الإشعاعية بإدخال "معدلات العد" (count rates) الظاهرة على الجهاز، في معدلات، مزودة "بالمصنوعات" (manufactures) التي توصف للجهاز وللبلورة المستخدمة فيه، أو بالمقارنة "بمنصة المعايرات" (pad calibrations).

(٤,٣,٣) الاعتبارات الهندسية Geometrical Considerations

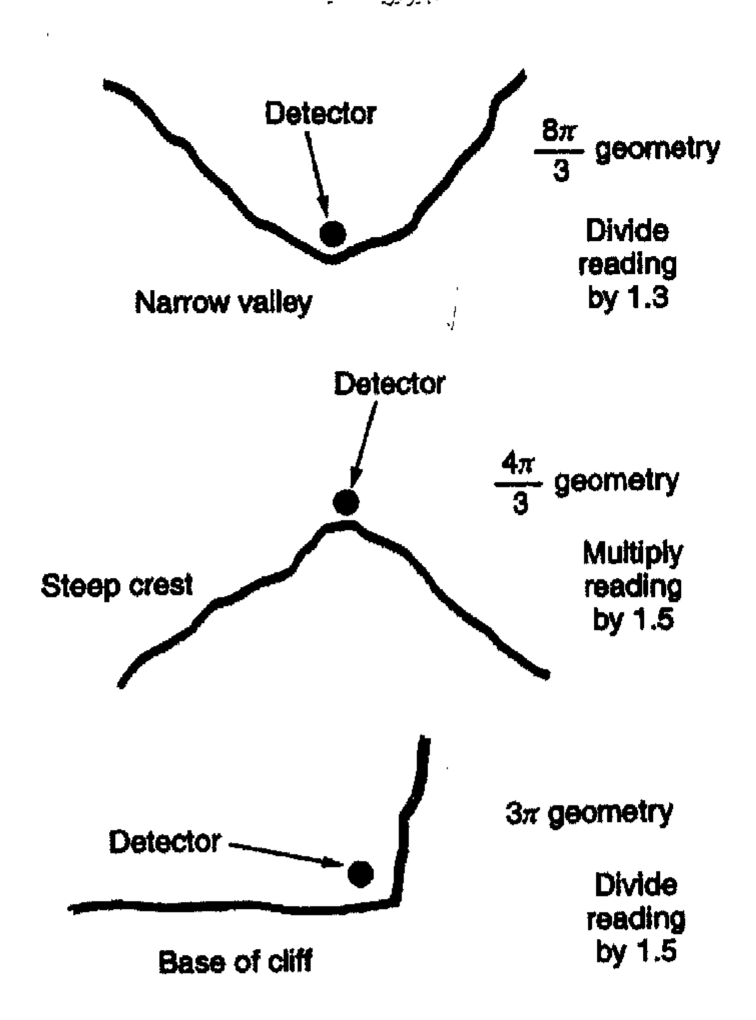
المصدر الهندسي (source geometry) هام في جميع الأعمال المساحية الإشعاعية وخاصة في العمل التحليلي. يأتي الإشعاع من الطبقة السطحية الرقيقة. وسيكشف فقط شذوذاً محدوداً إذا كان الامتداد الجانبي للمصدر ضئيلاً مقارنة بالمسافة بينه وبين "المجس" (detector).

ومن الناحية الأخرى، إذا كان المصدر قوياً وموضوعاً على السطح، فإن ارتفاع المجس لا يجب أن يؤثر تأثيراً شديداً على "معدل العد" (count rate). وبصفة عامة، فإن هذه الحالة يمكن تحقيقها إذا كان الامتداد الجانبي للمصدر يصل إلى عشرة أضعاف أو أكثر "قدر" ارتفاع المجس عن هذا المصدر. وفي الواقع لا يمكن غالباً تحقيقها. ويوضح (الشكل رقم ٤,٣) بعض المصادر الهندسية المحتملة الأخرى وكذلك عوامل التصويبات على قيم النموذج (2π).

(٤,٣,٤) تصحيحات التغيرات في القاعدة الإشعاعية
Corrections for Background Variations

يلتصق (attached) كل من غاز الرادون الجوي، والأشعة الكونية والجسيمات المشعة، بالجهاز نفسه ليتسبب في تكوين قاعدة إشعاعية ليست لها علاقة بالأجسام (objectives) المراد مسحها. وتقدر مشاركة هذه الخلفية عادة بما يقل عن ١٠٪ من "العد الكلي" (total count)، وهذا غالباً ما يهمل في المسح الميداني.

وإذا كانت التصويبات ضرورية، وذلك بسبب الاختلافات الطفيفة جداً التي يمكن مشاهدتها أو بسبب العمل التحليلي الدقيق المراد إنجازه، فإنه يمكن تقدير هذه التصويبات بأخذ قراءات إما في وسط كتلة المياه وعلى عمق متر واحد على الأقل وباتساع ١٠متر على الأقل، أو باستخدام مجس معزول عن الأرض بواسطة "رقيقة من الرصاص" (lead sheet).



الشكل رقم (٤,٣). يوضح العوامل الهندسية والتصويبات للمسح الإشعاعي.

في الواقع إن هذه الطرق جميعاً غير ملائمة، وأحياناً ما تعرف الخلفية الإشعاعية ببساطة (مع احتمال عدم مصداقيتها) على أنها أقل قراءة يمكن الحصول عليها في أي مكان من موقع المسح. ويمكن رصد التغيرات في الخلفية الإشعاعية التي ترجع أساساً إلى

تغيرات الرطوبة الجوية (حيث أن الهواء الرطب يمتص الإشعاع بشكل مؤثر جداً عنه في الهواء الجاف) وذلك باستخدام "مجس" (detector) ثابت يوضع في هذا الموقع.

يجب أن يكون مستوى القاعدة الإشعاعية (background) التي ترجع إلى المواد المشعة في "بلورة المجس" (detector crystal) وفي "غلاف الجهاز" (housing) ثابتة لفترات طويلة ، كما يمكن قياسها بوضع "المجس" في بيئة معزولة تماماً. ولكن هذا في الواقع قد يكون صعب تنفيذه. وعادة ما تكون التصويبات "بسيطة" (trivial) وأنه في غاية الأهمية التأكد من عدم وجود شوائب يمكن أن تكون ملوثه ، وتعمل على تلويث (smeared) غلاف الكشاف أو المجس (detector housing).

ويمكن أن يكون الشخص الملاحظ (observer) الذي يقوم بأخذ القراءات مصدراً هاماً غير شرعياً (spurious) للإشعاع ، وخاصة إذا كان يحمل جهاز المجس (sensor) على ظهره. وفي هذه الحالة فلابد من أخذ "امتصاص الإشعاع" بواسطة جسم الشخص الملاحظ (observed) نفسه في الاعتبار ، وذلك عادة ما يتم بإجراء تجربة مباشرة.

تحتوى الغرفة المفرغة (vacum chamber) في بعض أجهزة قياس "عجلة الجاذبية الكوارتزية" (quartz gravity meters) على كميات ضئيلة من المواد المشعة وذلك بغرض العمل على تأين الغازات المتبقية ومنع حدوث كهربية إستاتيكية على "النظام الزنبركي" (spring systems). وأحياناً ما يجرى المسح الإشعاعي ومسح الجاذبية معاً ، وهذا يؤدي إلى خلاصات ونتائج غير منطقية ومرفوضة.

(٤,٣,٥) تسجيل البيانات الإشعاعية المقاسة Recording Radiometric Data

بسبب الامتصاص القوى لأشعة جاما الإشعاعية بواسطة الصخور والتربة ، فإنه يجب تسجيل ملاحظات بشكل مكثف أثناء المسح الإشعاعي. كما يجب تسجيل درجة الانحراف (departure) عن حالة (2π Geometry) مع تسجيل تفاصيل خصائص غطاء التربة. ويجب إجراء محاولات لتحديد أن غطاء التربة منقول أو نشأ في مكانه ،

وكذلك لتحديد سمك هذا الغطاء. وقد يكون تسجيل حالة الأحوال الجوية مهماً. وبصفة خاصة، يكون الامتصاص الإشعاعي أكبر بكثير في التربة الرطبة عنها في التربة الجافة، كما يجب دائماً ملاحظة سقوط الأمطار الحديثة ومدى انتشار برك (puddles) المياه الطينية الراكدة.

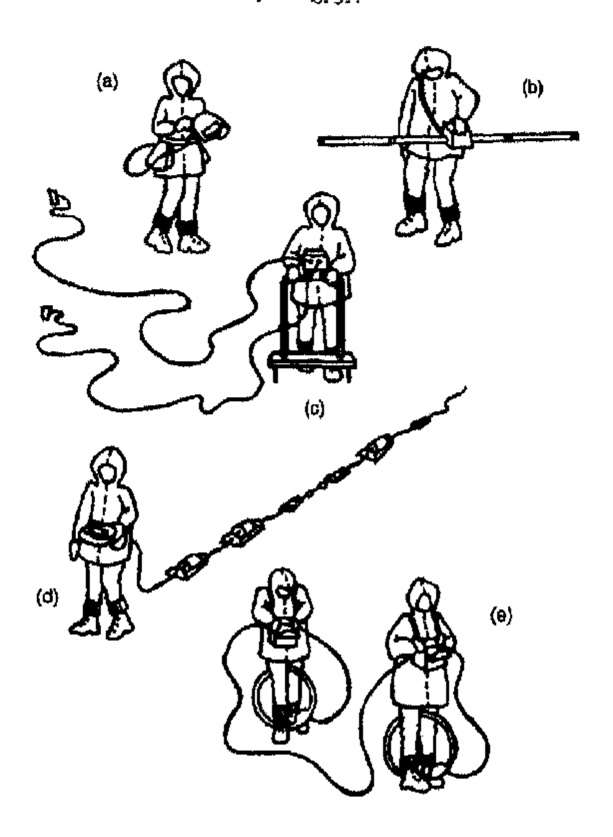
يجب تسجيل طرق أخذ القراءات التي تشمل على "ثوابت الزمن" (time constants) و"فترات العد" (count periods). ويجب عدم تغير تقنيات المسح الحقلي أثناء البرنامج المسحي الواحد، كما يجب وصف موضع وطريقة تناول "المجس" (sensor) (فيذكر مثلاً إن كان يمسك باليد أو يحمل على الظهر).

الفصل الخامس

طرق التيار الكهربي: اعتبارات عامة
ELECTRIC CURRENT METHODS: GENERAL CONSIDERATIONS

تعتمد معظم الأعمال المساحية الجيوفيزيائية على قياس فرق الجهد أو قياس المجال المغناطيسي المصاحب لمرور التيار الكهربي داخل الأرض. وتنشأ بعض هذه التيارات الكهربية بطريقة طبيعية حرة ومستدامة كنتيجة للتفاعلات الطبيعية لكل من عمليات الأكسدة وعمليات الاختزال أو تنشأ كنتيجة للاختلافات في المجال المغناطيسي للغلاف الجوي أو للغلاف الأيوني، ولكن معظم هذه التيارات الكهربية تنشأ بطريقة اصطناعية.

ويمكن إجبار التيار على المرور "بالبث المباشر" (direct injection) أو عن طريق "الازدواج القادر (ذو القدرة)" (Capacitative coupling) أو "بالحث الكهرومغناطيسي" (electromagnetic induction) (الشكل رقم ٥,١) وتعرف الأعمال المساحية التي تستخدم البث الكهربي المباشر عن طريق غرس أقطاب كهربية (electrodes) على سطح الأرض بأنها الأعمال المساحية باستخدام التيار المستمر (direct current surveys) أو (DC surveys). وتستخدم هذه التسمية (DC) على الرغم أنه يحدث عملياً تغير عكسي لاتجاه التيار على فترات منتظمة وذلك بغرض العمل على إلغاء بعض أشكال خلفية التشويش الطبيعية (natural background noise).



الشكل رقم (٥,١). يوضح طرق المسح الكهربي في الأعمال البيئية والهندسية. (a) يستخدم الفني جهاز (ABEM Wadi) مسجلاً الموجات الصادرة من جهاز مرسل جهاز التردد المنخفض (VLF) (المذكور في الفصل التاسع). ويمكن استخدام نظام الملفين. وللأعمال المساحية الكهرومغناطيسية (الفصل الثامن) يمكن استخدام نظام الملفين مثل جهاز جيونيكس EM 31 (b) أو EM 37 (e). وللأعمال المساحية للمقاومة الكهربية (C) عادة ما يستخدم ترتيب القطبين (فقرة ٥,٢)، مع مسجل للبيانات يتم تثبيته على إطار حول الأقطاب التي يمكن حملها. ولا يحتاج نطاق القدرة المزدوجة (d) إلى اتصال مباشر بالأرض ولكنه يعطي نتائج تساوي وتكافئ تلك المستخرجة من الأعمال المساحية الكهربية للتيار المباشر (DC). وسيكون هناك مشكلة تداخل حقيقي إذا استخدمت كل هذه الطرق والأنظمة مجتمعة في نفس الوقت بالطريقة التي عرضت لها في الشكل.

ويصطلح أحياناً تسمية التيارات الناشئة من المجالات الكهربية عن طريق الأقطاب الكهربية أو عن طريق "الازدواج القادر" بالتيارات الجلفانية (galvanic currents). بينا تسمى الأعمال المساحية التي يجبر فيها التيار على المرور بطريقة حثية (inductively) بالأعمال المساحية الكهرومغناطيسية (electromagnetic; EM surveys).

ويشتمل هذه الفصل (الفصل الخامس) على مفاهيم عامة لها علاقة بالطرق الكهربية. ويتناول الفصل السادس طرق التيار المباشر (DC-methods) بشكل تفصيلي بينما يتناول طرق الازدواج القادر (C.C methods) وهي الأقل استخداماً، بشكل عام.

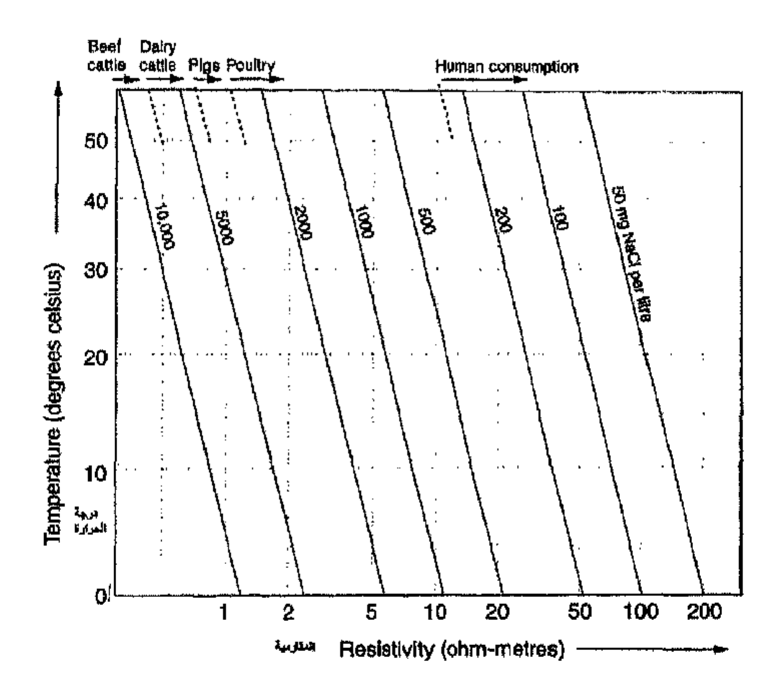
ويغطي الفصل السابع طرق الجهد الذاتي (SP or Self potential) وطرق الاستقطاب الحثي (IP of induced polarization). ويعالج الفصل الثامن طرق المسح الكهرومغناطيسي (EM or electromagnetic surveys) مستخدماً مصادر محلية. بينما يتناول الفصل التاسع طرق التردد شديد الانخفاض (VLF or very low frequency)، وطرق المصادر المتحكم فيها للموجات الدوامية المغناطيسية المسموعة (CS – AMT or Controlled sources – audiomagnetotelluric methods) والتي تستخدم فيها موجات مستوية (plane waves) صادرة من مرسل على مسافة بعيدة (distant transmitters).

(٥,١) التوصيلة والمقاومة الكهربية

Resistivity and Conductivity

تقوم الفلزات ومعظم كبرتيدات الفلزات بتوصيل الكهرباء توصيلاً فعالاً عن طريق انسياب الإلكترونات. وتأسيساً على هذه الخواص تصبح للطرق الكهربي أهمية خاصة في الأبحاث البيئية التي تهدف إلى تحديد مواضع العناصر الفلزية وكذلك في الدراسات الخاصة باستكشاف خامات الكبرتيدات الفلزية. ومن المعلوم أن الجرافيت (Graphite) من المعادن الموصلة إلكترونياً ("electronic" conductor) إلا أنه غير مفيد في حد ذاته ولذلك فإنه يعتبر من مصادر التشويش (noise) أثناء عمليات الاستكشاف المعدني.

معظم المعادن المكونة للصخور موصلات ضعيفة جداً للكهربية، وعلى ذلك فإن التيار الكهربي ينتقل بشكل أساسي عن طريق الأيونات المتواجدة في مياه المسام الصخرية (pore water). وتتأين المياه النقية فقط بشكل محدود جداً ولذلك فإن التوصيل الكهربي يعتمد على الأملاح الذائبة في المياه المتواجدة في مسام التربة (pore water)، ومعظم هذه الأملاح من كلوريد الصوديوم (الشكل رقم ٥،٢). ونظراً لسهولة اكتساب معادن الطين للماء فإنها نشطة أيونياً ولذلك فإن للمواد الطينية القدرة على التوصيل الكهربي حتى وإن كانت قليلة الرطوبة.



الشكل رقم (٥،٢). يوضح شكل بياني يربط بين التغيرات في مقاومة الماء الكهربية ونسبة تركيز كلوريد الصوديوم الذائب في الماء. ويوضح الشكل أيضاً الاستخدامات التي يمكن أن تمارس للمياه ذات درجات الملوحة المتنوعة.

(٥,١,١) قانون أوم والمقاومة الكهربية Ohm's Law and Resistivity

شدة التيار الذي يمر في موصل ما يتناسب طردياً مع الفرق في الجهد لهذا الموصل، أي أن:

$$V = IR$$

ويعرف هذا بقانون أوم (Ohm's Law) وفي هذا القانون يعرف ثابت التناسب (R) بالمقاومة وتقاس بوحدة الأوم (Ohm) عندما يقاس شدة التيار (I) بوحدة الأمبير (amp) وفرق الجهد (V) بوحدة الفولت (volt). ويقاس التوصيل الكهربي بوحدة السيمن (siemen) التي تعرف أيضاً بالموه (mho).

وتعرف المقاومة لوحدة المكعب للتيار المار بين كل وجهين متقابلين في هذا المكعب "بمقاومة المكعب" (Cubic Resistivity) ويرمز لها بالرمز (ρ) وتقاس بوحدة الأوم – متر (Ohm – meter) ويرمز لها بالرمز (Ωm). ويمكن أن يعبر عن التوصيل المتبادل بوحدة السيمن لكل متر (Sm-1) أو الموه لكل متر (mho /m). وتتناسب شدة المقاومة في كتلة على شكل متوازي مستطيلات (rectangular) والمقاسة بين كل وجهين متقابلين طردياً مع مقاومة هذه الكتلة وكذلك مع المسافة (x) بين كل وجهين متقابلين بينما تتناسب عكسياً مع مساحة مقطع هذين الوجهين (A)، أي أن:

$$R = \rho\,(x/A)$$

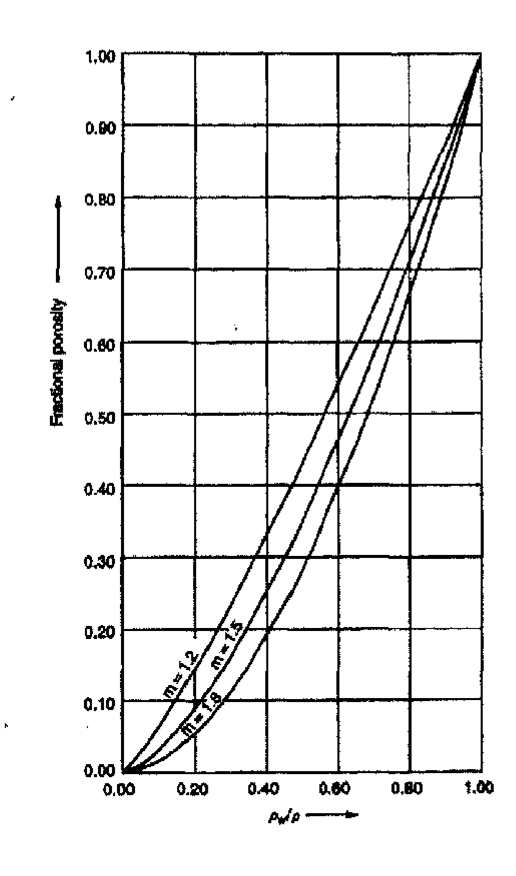
وللمواد المتماثلة (الأيزوتروبية Isotropic material) مقاومة متساوية في كل الإتجاهات. ومن المعروف أن معظم الصخور مواد أيزوتروبية ولكن الطفلة (Shale) والأردواز (Slate) ذات التطابق الواضح تكون المقاومة فيها أكثر شدية في الاتجاه العمود على اتجاه التطابق عنها في الاتجاه الموازي للتطابق (lamination).

(٥,١,٢) المقاومة الكهربية للصخور والمعادن

Electrical Resistivities of Rocks and Minerals

تعادل مقاومة معظم الصخور تقريباً مقاومة السوائل المتواجدة في مسام الصخور (Pore Fluids) مقسوماً على "المسامية التشققية (fractional porosity). ينص "قانون أرشي"

(Archie's law) على أن المقاومة تتناسب عكسياً مع المسامية التشققية" المرتفعة إلى قوة. تتراوح هذه القوة بين ١,٢ و١,٨ تبعاً لشكل الحبيبات المالئة للفراغات البينية (matrix) داخل الصخر. وبذلك يقدم هذا القانون تقريباً واضحاً لمعظم الحالات إن لم تكن الانحرافات كبيرة عن العلاقة الخطية لمنحنى القيم الشائعة للمسامية (الشكل رقم ٥,٣).



الشكل رقم(٥,٣). يوضح منحنى العلاقة بين متغيرات "قانون أرشي" للمقاومة الكلية للصخور (ρ) للصخور التي لها قالب معزول ومقاومة الماء داخل المسام (ρw). ويصل الدليل (m) حوالي 1.2 للحبيبات الكروية وحوالي 1.8 للمواد المسطحة أو المستطيلة.

ويعرض الجدول رقم(٥،١) قيم مقاومة الصخور والمعادن الشائعة. ومن النادر أن تصل المقاومة الكلية التي سجلت في المسح الميداني لأكثر من 10 000 Ωm أو أقل من 1 Ωm.

(٥,١,٣) المقاومية الظاهرية Apparent Resistivity

تعطينا القراءة الواحدة في الأعمال المساحية الكهربية القليل جداً من المعلومات، فأقصى ما يمكن استنتاجه من هذه القراءة هو قيمة المقاومية لطبقة أرضية كاملة التجانس (نصف فراغ متجانس –a homogeneous half – space) التي تظهر نفس النتيجة إذا أعيد فحصها بنفس الطريقة تماماً. وفي هذه الحالة الخاصة تعرف قيمة المقاومية "بالمقاومية الظاهرية" (Apparent Resistivity). وتوفر التغيرات في قيم المقاومية الظاهرية أو بديلها "التوصيل الكهربي الظاهري"(Apparent Resistivity) البيانات الأولية اللازمة للاستقراء في معظم الأعمال المساحية الكهربية.

وعندما تستخدم الطريقة الكهرومغناطيسية للكشف عن المواد جيدة التوصيل الكهربي مثل "خامات الكبرتيدات" (Sulphide ores) يصبح في هذه الحالة، تحديد موقع الهدف أكثر أهمية من تعين قيمة المقاومية الكهربية في حد ذاتها بدقة. وحيث إنه من الصعب فصل تأثيرات حجم الهدف عن قدرته التوصيلية وخاصة في الأهداف الضئيلة الحجم، فإن النتائج تعرض تحت مصطلح: "التوصيلية – السمك" (Conductivity – thickness product).

(٥,١,٤) تأثيرات طبقة الردم Overburden Effects

يؤدي تواجد الأملاح في التربة إلى زيادة القدرة التوصيلية الكهربية في الطبقات القريبة من سطح الأرض. وتسمح الدوائر القصيرة المؤثرة للتيار الكهربي المتولد على السطح بالاختراق الضئيل للتيار إلى الطبقات الأكثر عمقاً. وهكذا تسبب طبقة الردم السطحية الجيدة التوصيل الكهربية، مشاكل لجميع الطرق الكهربية وأكثرها تأثراً الطريقة الكهرومغناطيسية ذات الموجة المستمرة.

الجدول رقم(٥،١). قيم مقاومة الصخور ومعادن الخامات الشائعة (القيم بالأوم – متر).

الصخور الشائعة	المقاومة الكهربية
التربة السطحية	50 – 100
الرمال السائبة	500 – 5000
الحصى	100 – 600
المواد الطينية	1 – 100
الصخور الأساسية المجواه	100 – 1000
الصخور الرملية	200 – 8000
الصخور الجيرية	500 – 10 000
جرينستون	500 – 200 000
جابرو	100 – 500 000
جرانيت	200 – 100 000
بازلت	200 – 100 000
شيست جرافيتي	10 – 500
أردواز	500 – 500 000
كوارتزيت	500 – 800 000
معادن الخامات	**المقاومة الكهربية**
خام البيريت	0.01 – 100
البيروتيت	0.001- 0.01
كالكوبيريت	0.005 – 0.1
جالينا	0.00 – 100
إسفاليريت	1000 – 1 000 000
ماجنيتيت	0.01 - 1000
كاسيتريت	0.001 – 10 000
هيماتيت	0.01 – 1 000 000

تولد الطبقات السطحية عالية المقاومة عوائق فقط أثناء الأعمال المساحية التي تستخدم التيار المباشر (DC). وفي الحقيقة فقد تكون لهذه الطبقات السطحية ميزة عند استخدام الطريقة الكهرومغناطيسية (EM)، وذلك بسبب تخفيض درجة الوهن أو الاضمحلال (attenuation) وزيادة المقدرة لفحص طبقات أعمق.

(٥,٢) طرق التيار المباشر
DC Methods

من النادر أن تكون التيارات المستخدمة في الأعمال المساحية الكهربية تيارات مباشرة (DC or direct current) أحادية الاتجاه. ويؤدي انعكاس اتجاه التيار إلى التخلص من تأثيرات التيارات الطبيعية أحادية الاتجاه وذلك ببساطة عن طريق جمع النتائج المقاسة في الاتجاهين وإيجاد متوسط حسابي لهما.

وتحتاج الأعمال المساحية الكهربية (DC) إلى مولد كهربي، فولتامتر، وموصل كهربي للأرض. ولتوصيل الشحنة الكهربية للأرض في كل الطرق الكهربية تقريباً تحتاج إلى أسلاك وإلى أقطاب معدنية وعلى الرغم من رخص ثمنهما إلا أنهما من أهم الأجزاء في الأعمال المساحية الكهربية، وعادة ما يصاحبهما الكثير من التشويش.

(٥,٢,١) الأقطاب المعدنية Metal Electrodes

على الأرجح تصنع الأقطاب المستخدمة في بث التيار الكهربي للأرض من أعمدة معدنية فلزية. ويجب دق هذه الأقطاب حتى عمق أكثر من ٥٠ سم في الأرض الجافة، ويجب أن تبلل بالماء لزيادة قدرتها على التوصيل. وعندما يكون التوصيل ضعيفاً جداً فإنه يمكن استخدام مياه مالحة واستخدام أقطاب متعددة الأطوال والأقطار.

وفي بعض الحالات الخاصة عندما تكون المقاومة عالية جداً والتوصيل الكهربي ضعيف جداً في الطبقات السطحية لرواسب الكاليتش واللتريت فإن ثقب حفرة يكون أمراً ضرورياً.

وتأخذ أعمدة الأقطاب المعدنية أشكالاً متعددة حيث يستخدم كل شكل مكانه المناسب حسب طبيعة الأرض والأعمال المطلوبة. ففي حالة الأرض الحجرية الصلبة تستخدم أقطاب على شكل أجنة أو حفار من الصلب وتثبت في الأرض بالطرق الشديد. ويمكن في هذه الحالة أيضاً استخدام أطوال مدببة من "زوى الحديد " (angle – iron) وإن كانت ضعيفة نسبياً إلا أنها ذات مساحة تماس أوسع. وفي حالة الأرض اللينة وكان الاعتبار الأول للسرعة فإنه يمكن غرس عدد كبير من أوتاد الخيام المعدنية في الأرض على طول امتداد خط المقطع، مقدماً.

ويمكن أن تنشأ مشاكل عند استخدام "أقطاب فرق الجهد" (Voltage electrodes) حيث ينشأ استقطاب فولتي عند تلامس الأقطاب المعدنية بالمياه الأرضية. ومع ذلك فإن التيار العكسي الذي عادة ما يستخدم في المسح الكهربي للتيار المباشر التقليدي (Conventional DC) بصفة عامة يعمل على الإقلال من التأثيرات السلبية أو إلغائها تماماً. ويتوقف مقدار فرق الجهد على نوع المعدن المستخدم في صناعة هذه الأقطاب. فعلى سبيل المثال يقل كثيراً فرق الجهد عند استخدام أقطاب مصنوعة من الصلب الذي لا يصدأ.

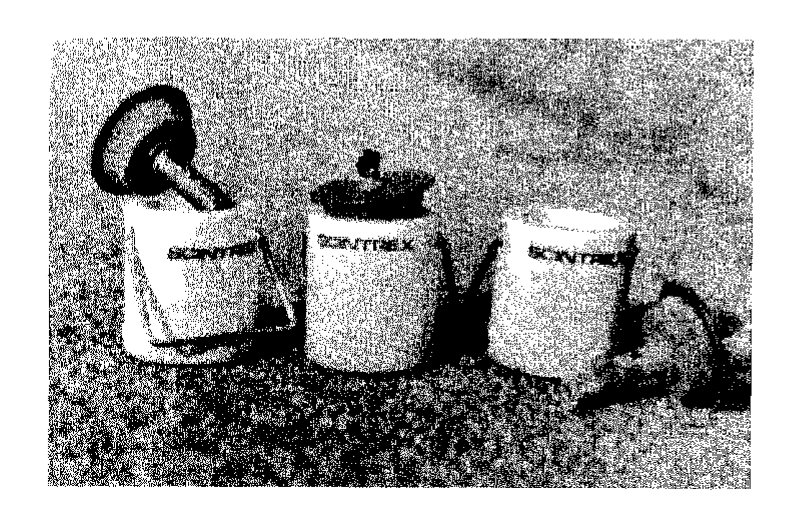
(٥,٢,٢) الأقطاب غير المستقطبة Non – Polarizing Electrodes

يشكل "فرق الجهد المستقطب" (Polarization voltages) مصدراً حقيقياً وهاماً للتشويش (noise) في الأعمال المساحية الكهربية باستخدام طريقة الجهد الذاتي (SP) الذي يتضمن قياس الجهود الطبيعية، وكذلك في المسح الكهربي باستخدام الاستقطاب الحثي (IP) كما سنرى في الفصل السابع وفي هذه الحالات فإنه يجب استخدام "الأقطاب غير المستقطبة" (non – polarizing electrodes) لتجنب هذا التشويش.

وتعتمد فكرة تصميم هذه الأقطاب الخاصة على الحقيقة الاستثنائية القائلة : بأن الموصلات المعدنية (الفلزية) الملامسة لمحلول (electrolyte) تولد جهد تماس (contact

potential) يظهر عندما يتلامس الفلز المعدني مع محلول مشبع بأحد أملاحه الخاصة. وتطبيقاً على ذلك فإن معظم الأقطاب غير المستقطبة تصنع من فلز النحاس مغموسة (ملامسة) لمحلول مشبع بأملاح كبريتات النحاس.

وكما هو واضح في (الشكل رقم ٥.٤) تتكون هذه الأقطاب الغير مستقطبة من عدة أجزاء رئيسية. حيث يلتصق القطب بغطاء أناء (Container) أو غطاء أصيص (Pot) له قاعدة مسامية من الخشب، أو من الفخار الخام (غير مغطى بطبقة من الجلاز) وهذا النوع الأخير هو الشائع.



الشكل رقم (٥,٤). وحدات من آنية ملامسة للأرض مصنوعة من إصيص غير مغطى، مركب عليه أقطاب غير مستقطبه وبها بعض السوائل لقياس الكهربية الأرضية. وهناك أنواع أخرى يمكن دفعها في ثقب مصنوع "بعتلة" أو "معول" جيولوجي.

ويحدث التوصيل أو التماس مع الأرض من خلال المحلول الملحي الذي ينساب من قاعدة الأصيص المسامية. ويجب الاحتفاظ ببعض كبريتات النحاس الصلبة في

الإصيص وذلك للتأكد من تشبع المحلول بصفة دائمة. ويجب تجنب تخفيف المحلول أو زيادة نسبة المياه العزبة في أي جزء من المحلول حتى لا يتولد فرق الجهد (Voltages) في أجزاء المحلول الغير مشبعه بالأملاح.

إن المقاومة العالية لهذه الأقطاب ليست مهمة بصفة عامة لأنه من غير المستحب مرور تيار في دوائر كهربية يمكن أن يقاس لها فرق جهد.

ومن المستحب في أحيان كثيرة أثناء الأعمال المساحية بطريقة الاستقطاب الحثي (IP) استخدام أقطاب يتولد عنها تيار غير مستقطب وذلك ليس فقط لمشكلة المقاومة المتولدة في هذه الحالة ولكن أيضاً للتلف السريع للأقطاب الذي يرجع للتحليل الكهربي وترسيب النحاس.

وفي هذه الطريقة يلوث محلول كبريتات النحاس كل مكان ويفسد كل شيء، وعلى الرغم من بعض الميزات النظرية فإن الأقطاب الغير مستقطبة نادراً ما تستخدم في الأعمال المساحية الروتينية للتيار المباشر (DC).

(٣,٢,٥) الأسلاك Cables

عادة ما تستخدم الأسلاك المعروفة في الأعمال المساحية الكهربية التي تتميز بأنها أسلاك مفردة مجدولة من النحاس ومغطاة بطبقة من البلاستيك أو المطاط. ويتحدد سمك السلك المطلوب عادة طبقاً لدرجة التحمل والمتانة وإلى حد ما طبقاً للمقاومة المطلوبة. ومن المعروف أن مقاومة التماس أعلى بكثير جداً من مقاومة السلك نفسه. ويحتاج الأمر أحياناً إلى تقويه من الصلب في حالة الأسلاك الطويلة وذلك لزيادة قوة تحملها واستخدامها.

ونظراً لاستخدام الأسلاك الطويلة في جميع الأعمال المساحية الكهربية والتي يلزم فيها تجنب تهريب التيار الكهربي فإن مراعاة التحفظات في التناول الجيد للأسلاك (فقرة ١,٢,٢) يصبح ضرورياً. وأصبح شائعاً الآن استخدام الأسلاك "المتعددة اللب"

(Multicore) في التوصيل بين مختلف الأقطاب. فبمجرد فرد السلك وتوصيله يمكن أخذ العديد من القراءات لمختلف توصيلات أقطاب التيار الكهربي وأقطاب فرق الجهد معاً وذلك باستخدام "مفتاح اختيارات" (Selector switch).

ويمكن أن تسبب خطوط كهرباء الضغط العالي تشويشاً (noise) أثناء إجراء الأعمال المساحية، وفي هذه الحالة يكون ضرورياً إبعاد الأسلاك المستخدمة في الأعمال المساحية عن مواقع هذه الخطوط الظاهرة أو المختفية.

وبالرغم من اختلاف ترددات القوى ذات 50 or 60 Hz عن تلك الترددات التي يعكس عندها التيار (2 – 0.5 Hz) في معظم الأعمال المساحية (DC and IP) إلا أن هذه الترددات قد تؤثر في الأجهزة الحديثة ذات الحساسية العالية وخاصة في تلك الأعمال الخاصة بطريقة "الجهد الحثي لمجال الزمن" (time – domain IP)، (فقرة ٣,٧). وعادة ما تكون النتائج المستخلصة تحت هذه الظروف غير منطقية أو غير موجودة أصلاً فضلاً عن كونها مشكوك فيها.

وعادة ما يتم توصيل الأسلاك بالأقطاب عن طريق مشابك على شكل تمساح (Crocodile clips) وهذا أفضل من استخدام مسامير الربط في التوصيل وذلك يرجع إلى صعوبة هذا الاستخدام من ناحية واحتمال تحطيم هذه المسامير بالمطرقة أثناء تثبيت الأقطاب عن غير قصد. ومع ذلك، فإنه من السهولة فقد المشابك أثناء العمل الحقلي، ولذلك يجب على كل عضو من أعضاء الفريق الحقلي أن يأخذ مشابك احتياطية بالإضافة إلى مفك (Screwdriver) وزرادية صغيرة (Pliers).

(٤,٢,٥) المولدات والمحولات Generators and Transmitters

تعرف الأجهزة التي تتحكم في التيار الكهربي ولها القدرة على قياسه أثناء الأعمال المساحية لكل من طريقتي (IP)، (DC) بالمحولات (Transmitters). تقع أغلب مربع موجة التيار المرسل والعائد في اتجاه معاكس في دورة من الزمن ما بين 2 0.5 and)

second) . ويتحدد الحد الأدنى لزمن هذه الدورة حسب درجة الاحتياج للإقلال من التأثيرات الكهرومغناطيسية الحثية والتأثيرات المتعلقة بالسعة أو القدرة الكهربية (Capacitative effects). كما يتحدد الحد الأقصى لزمن الدورة حسب الاحتياج اللازم لتحقيق "معدل مقبول للتغطية " (acceptable rate of coverage).

وتتعدد مصادر الطاقة لهذه "المحولات" فمنها البطاريات الجافة أو البطاريات التي يعاد شحنها أو مولدات كهربية (Generators). وكان قديماً تستخدم المولدات ذات الكرنك اليدوي (Hand – cranked generators) أو ما تسمى بـ (naggers) لتوليد التيار المباشر (DC)، ولكن هذا النوع نادر الاستخدام الآن. وإذا كانت أقطاب التيار كثيرة أو كانت موزعة على مسافات بينية تصل إلى ٢٠٠ متر فإنه يلزم توليد العديد من الكيلوفولتات (KVA).

ولابد أن يكون المولد المستعمل مولداً يمكن حمله بسهولة، وأن تكون الطاقة المتولدة منه على مستويات غير خطيرة وغير مميتة. ويجب توخي الحذر الشديد ليس فقط عند ملامسة الأقطاب والتعامل معها ولكن أيضاً في التأكد من تأمين الأشخاص المارين والمواشي والحيوانات الداجنة على كامل مسار سلك التيار الكهربي بين الأقطاب. وفي هذا الصدد يمكن أن يذكر أنه حدث على الأقل مرة واحدة (في استراليا) أن تسبب التجهيز الرديء لسلك المحمول الكهربي الخاص بالأعمال المساحية (IP) في اشتعال حريق كبير في الأعشاب الطبيعية بمنطقة العمل.

(٥,٢,٥) أجهزة المستقبل Receivers

تعرف الأجهزة التي تستخدم في قياس فرق الجهد (الفولتية – Voltage) أثناء الأعمال المساحية (IP – DC) بأجهزة المستقبل (مستقبل receiver). والمتطلب الأساسي هو إهمال التيار المنبعث من الأرض. وقد استخدمت سابقاً أجهزة ذات ملف متحرك عالي الحساسية، ودوائر لقياس فرق الجهد (توازن فرق الجهد – Voltage balancing)

ولكن الآن استبدلت هذه الأجهزة جميعاً بوحدات خاصة تعتمد على ترنسيستورات ذات تأثير مجالي (Field – effect transistors) ويرمز له: (FETS).

تتحد المحولات والمستقبلات في وحدات مفردة في معظم الأجهزة الخاصة بطريقة التيار المباشر (DC) ذات الطاقة المنخفضة والمتوفرة الآن في السوق، حيث تظهر فيها القراءات مباشرة بالأوم. وتسمح هذه الأجهزة بقياس فرق الجهد (Voltage) حتى في حالة عدم وجود تيار متولد، وبذلك يمكن تقدير مستويات التشتت (noise) وإجراء الأعمال المساحية الخاصة (SP). ولتجنب تأثير التيارات المنخفضة على دقة النتائج في جميع الحالات الأخرى فإنه يجب تحديد مستويات التيار مسبقاً كما يجب رصد هذه المستويات.

وفي الأجهزة الحديثة يمكن إدخال وإجراء ضبط التيار المطلوب، وتحديد دورة الفترات الزمنية وعدد هذه الدورات، وأشكال القراءة المستخرجة، وأحياناً تعيين مدى حدود فرق الجهد عن طريق استخدام لوحة مفاتيح (key–pads) أو مفاتيح تحويل (switches). وتمثل عدد الدورات المستخدمة التوازن بين سرعة الإنجاز (التغطية coverage) والنسبة الجيدة بين الإشارة والتشويش. وعادة ما تجدد القراءات مع استكمال كل دورة. كما يجب إختيار عدد الدروات بشكل يكفي لتثبيت هذه القراءات.

وعادة ما تتوافر بعض الدلائل التي يمكن عند تطبيقها اكتشاف الظروف الخاطئة مثل: انخفاض التيار، وانخفاض فرق الجهد والتوصيل الخاطئ أو انعدام التوصيل. وهذه التحذيرات يمكن أن يعبر عنها بكود رقمي يمكن استخدامه وفهم معناه عن طريق كتيب خاص بذلك ويمكن اللجوء إليه عند الحاجة.

(٥,٣) طرق التيار المتغير
Varying Current Methods

يمكن أن يتسبب مرور التيار المتبادل في كل من الأسلاك والدوائر الكهربية في تولد تياراً كهربياً يبث في الأرض بدون ملامسة حقيقية لها وذلك باستخدام

الازدواج الحثي (capacitative coupling). وتعد الطرق الجيوفيزيائية اللاتلامسية (Non – contacting) هي الأساس الراسخ للأعمال المساحية الجوية بالإضافة لكونها مفيدة جداً في المسح الأرضي في بعض الظروف الخاصة التي يتعذر فيها تحقيق التلامس الكهربي. ومن هذه الظروف صعوبة تحقيق التلامس المباشر بسطح الأرض؛ نظراً لتغطيتها بالخرسانات أو الإسفلت، أو الثلج أو الجليد.

(١,٣,٥) عمق الاختراق Depth of Penetration

تستمد التيارات التي تنساب إلى الأرض بفعل المجال الكهربي المتبادل أو المجال المغناطيسي، طاقتها من هذه المجالات مما يسبب اختزالاً (وهناً) لقدرة هذه التيارات على الاختراق.

يتبع هذا الوهن (attenuation) قانون "الأس الدليلي" (exponential law) (انظر الفقرة ٦،١،١) حيث يحكم هذا القانون ما يسمى "بثبات الوهن" (attenution constant, α) ويمكن حساب هذا الثابت (α) عن طريق المعادلة الآتية:

$$a = \omega[\mu_a \varepsilon_a \{(\sqrt{(}1 + \sigma^2 / \omega^2 \varepsilon^2 a) - 1\} / 2]^{1/2}$$

حيث:

μ_a = القمية المطلقة للنفاذية المغناطيسية (magnetic permeability).

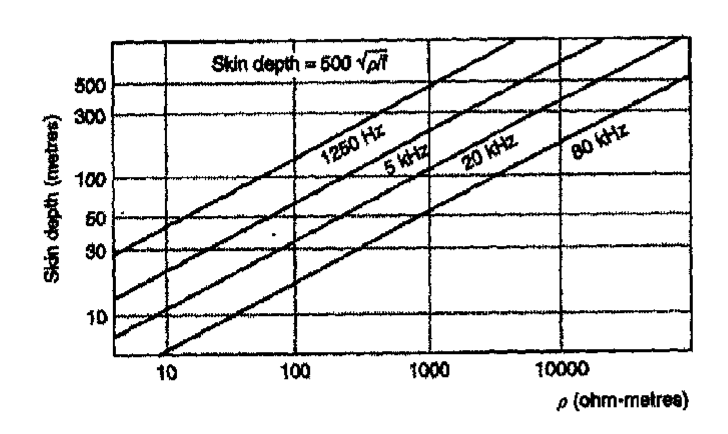
ε_a = القيمة المطلقة للسماحية الكهربية (electrical permittivity).

$\omega=(2\pi f)$ التردد الزاوي (angular frequency).

ويعرف "ثابت الوهن التبادلي" (reciprocal of the attenuation) "بعمق القشرة" (skin depth). وهذا العمق يساوى $1/e$ من قيمة المسافة الأصلية. حيث (e) هي أساس اللوغريتم الطبيعي. ويساوي تقريباً 2.718، وتتناقص قوة الإشارة بمقدار الثلثين تقريباً أعلى من عمق القشرة المفردة (single skin depth).

وعلاوة على ذلك تتبسط معادلة الوهن التثيطي" (daunting attenuation equation) بشكل جيد تحت ظروف محدودة معينة. تحت معظم ظروف المسح الكهربي تكون درجة التوصيل الكهربي للأرض (σ) أعلى بكثير من (ω ε)، و(α) تساوى تقريباً $\sqrt{(\mu a \sigma \omega)}$.

وإذا كانت، كما هو في العادة، التغيرات في النفاذية المغناطيسية ضئيلة، فإن عمق القشرة ($^1/_a$) يساوي تقريباً ٥٠٠ مقسماً على الجذر التربيعي للتردد، ودرجة التوصيل (الشكل رقم ٥,٥). وعادة ما يكون عمق الاختراق في منطقة البحث في الحالة التي يكون فيها "عمق القشرة" عامل تحديد (limiting factor) مساوياً، على سبيل المثال، لعمق القشرة مقسوماً على ($\sqrt{٢}$) أي أنه يساوي تقريباً $350\sqrt{(\rho/f)}$. ومع ذلك تؤثر المسافة الفاصلة بين المصدر المراد قياسه وجهاز المستقبل (receiver) في مقدار الاختراق ويصبح هذا الفصل العامل الرئيسي المؤثر في حالة كونه أصغر من "عمق القشرة".



الشكل رقم (٥,٥). العلاقة البيانية بين التغيرات في "عمق القشرة" مع التردد والمقاومة.

(٥,٣,٢) الحث الكهربي Induction

يحدث التغير في المجال المغناطيسي المصاحب للموجة الكهرومغناطيسية حثاً كهربياً مقداره فولتاً واحداً (قوة محركة كهربية ، emf) وذلك في اتجاه عمود على اتجاه التغير، وتسري التيارات الكهربية في أي أجسام قريبة موصلة للكهربية حيث تتكون هذه الأجسام من دوائر مغلقة. والمعادلات التي تنظم هذه الظاهرة بسيطة نسبياً على الرغم من أن الأجسام الجيولوجية الموصلة للكهربية معقدة للغاية. وتقرب التيارات الحثية والمعروفة "بالتيارات الدوامية"(eddy currents) في التحليل النظري باستخدام نماذج غاية في البساطة.

ويتحدد شدة التيار الحثي (induced current) بمعدل تغير التيارات في الدوائر الحثية وكذلك بعوامل هندسية تعرف "بالحث المتبادل" (mutual inductance). ويكون "الحث المتبادل" قوياً ويقال للموصلات أنها جيدة الازدواج عندما تتواجد مسارات للتوصيل المتجاور (adjacent conduction) ، وعندما تكون التغيرات في المجال المغناطيسي عمودية على الاتجاهات السهلة لمرور التيار وكذلك عندما تتواجد أجسام مغناطيسية لتعزيز قوة المجال.

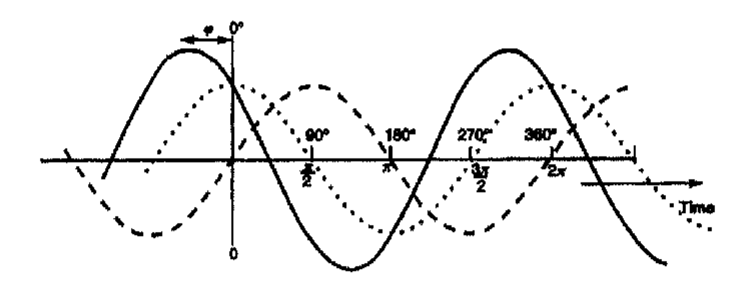
وعندما يتغير التيار في دائرة ما ، فإنه يتسبب في حدوث قوى كهربية محركة معاكسة في هذه الدائرة. وكنتيجة لهذا ، يقاوم الملف ذو اللفات المحكمة بشدة التغير في شدة التيار ، ويقال لهذه الملف أنه شديد الإعاقة (impedance) وذو "حث ذاتي" (Self – inductance) واسع.

(٥,٣,٣) طور الموجة Phase

يتخذ التيار المتدفق (energizing current) في معظم الأنظمة المستمرة للموجه ، شكل الموجة الجيبية (Sine wave) وقد لا يتخذ هذا الشكل ، حيث أن الموجة الجيبية الحقيقية يجب أن تساوي صفراً في بداية الزمن. وتسمى هذه الموجات "بالموجات الجيبية"

(Sinusoidal waves) وعادة ما يقاس الاختلاف بين بداية الزمن ونقطة الصفر على منحنى الموجة على أنه الزاوية المرتبطة بالزاوية الإشعاعية (3600 or 2π) للدائرة الكاملة، وتعرف بزاوية الوجه أو "زاوية الطور" (phase angle) (الشكل رقم ٥,٦).

تختلف التيارات الحثية والمجالات المغناطيسية الثانوية المصاحبة من الناحية الشكلية عن المجال المغناطيسي الأولي. ويمكن، في حالة التطابق مع الصفات الأساسية "للموجات الجيبية" (Sinsoidal wave) أن تحلل هذه التيارات إلى مركبات داخل الطور، ومركبات ٩٠ درجة خارج الطور ضمن المجال الأولي، (الشكل رقم ٥,٦). وتعرف هذه المركبات أحياناً "بالمركبات الحقيقية" (داخل الطور) و"المركبات الخيالية" (خارج الطور). وتوصف المركبات (خارج الطور) أيضاً (وهي الأكثر دقة والأقل تشويش)"بتربيعية الصنف"(Phase quadrature) ضمن الموجة الأولية.



الشكل رقم (٥,٦). شكل تخطيطي يوضح العلاقات بين "الموجات الجيبيه" و"زاوية الطور". وتمثل "الموجة الجيبية" بخط متصل وزاوية الطور (Φ)، بالمقارنة "بالصنف الصفري" المرجعي (جيب التمام) الذي يمثل "بمنحنى منقط". ويقدر "الاختلاف الطوري" بين الموجه المشرطة (الجيبي) وبين "الموجه المنقطة" بـ ٩٠ درجة أو π/2 الشعاعية ويقع الاثنين (كل منهما) عندئذ في الربع الطوري. ويقدر السعة بحاصل طرح الموجة الجيبية من الموجة الجيب تمامية والتي يمكن أن تكون "موجة الخط المتصل".

وحيث إن الموجات الكهرومغناطيسية تسير بسرعة الضوء وليست لحظية (instantaneously) فإن صنفها يتغير مع بعدها عن جهاز المرسل. تؤكد المسافة الصغيرة بين المرسل والمستقبل في معظم الأعمال المساحية أن هذه الإزاحات يمكن إهمالها.

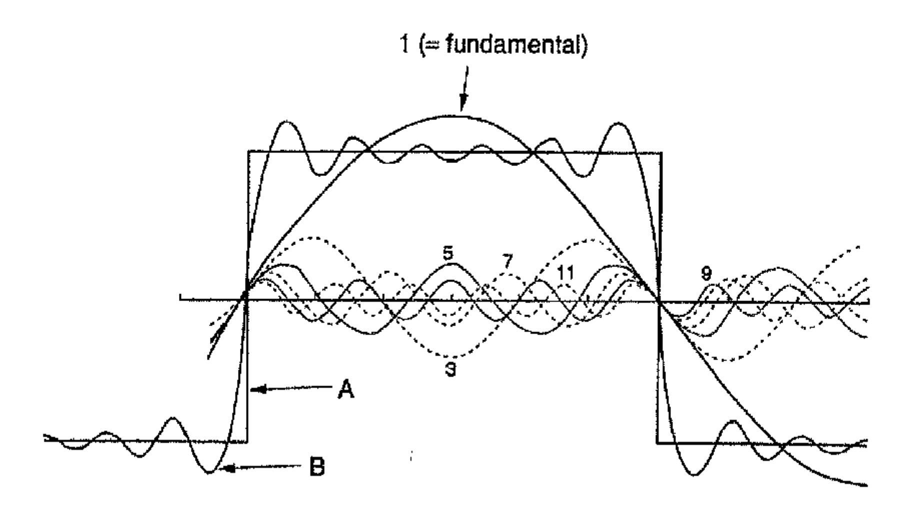
(٥,٣,٤) التيرات العابرة Transients

تعتمد الطرق الكهرومغناطيسية للموجة المستمرة أو العادية (CW) على إرشادات متولدة عن طريق "التيارات الجيبية" (Sinusoidal currents) في ملفات أو في أسلاك أرضية.

ويمكن الحصول على معلومات إضافية عن طريق إجراء الأعمال المساحية باستخدام ترددان مختلفان أو أكثر. وتدل علاقات عمق القشرة (الشكل رقم ٥,٥) على زيادة عمق الاحتراق مع انخفاض الترددات. إلا أنه في هذه تقل درجة وضوح الأهداف الصغيرة.

وكبديل للإشارات الجيبية (Sinusoidal signals) فإنه يمكن للتيارات الدائرة في ملف المرسل أن تنتهي بصورة فجائية. هذه الطرق الكهرومغناطيسية العابرة (TEM) (transient electromagnetic method) هي في الواقع متعددة التردد، وذلك لأن مربع الموجة يحتوي على عناصر من جميع الترددات التوافقية الأساسية والتي ترقى نظرياً لأن تكون ترددات لانهائية (الشكل رقم ٥,٧).

ولهذه الطرق (TEM) مميزات أكثر من طرق الموجة العادية المستمرة (CW)، ومعظم هذه المميزات تأتي من حقيقة أن القياسات تجرى لتأثيرات التيارات المتولدة بانتهاء التيار الأساسي أو الدائرة بعد انتهاء هذا التيار. وعندئذ لا يوجد احتمال لتسرب جزء من المجال الكهربي الأساسي في قياسات المجال الثانوي وذلك إما إلكترونياً أو لوجود خطأ في موقع الملف (Coil positioning) .



الشكل رقم (٥,٧). شكل تخطيطي يوضح العلاقة بين "مربع الموجة" التي تتكون من عناصر من جميع الترددات التوافقية الأساسية التي ترقى نظرياً لأن تكون ترددات لانهائية. ويمكن الحصول على التقريب المسئول عن "مربع الموجه" (A) عن طريق إضافة الخمس الأرقام المنسجمة الفردية الأولى (وهي مضاعفات صحيحة للأرقام ٣، ٥، ٧، ٩، ١١) من التردد الأساسي إلى الأساس. باستخدام السعة لكل من هذه المركبات الموجية المحددة عن طريق استخدام تقنية تحليل "فورير" يؤدي ذلك إلى الحصول على الموجه المجمعة (B). ويمكن تحسين عملية التقريب مستقبلاً عن طريق إضافة الأرقام المنسجمة الفردية الأعلى مع السعة المناسبة.

الفصل السادس

طرق المقاومة الكهربية
RESISTIVITY METHODS

تعتبر التسميات وما تدل عليه في الطرق الجيوفيزيائية الكهربية مشكلة، فعلى سبيل المثال يحدث عادة فيما يسمى بالتيار المباشر (DC) انعكاساً في اتجاه مرور التيار خلال فترات تصل إلى ثانية أو ثانيتين. وأكثر من ذلك، تستخدم طرق التيار المباشر (DC) في الأعمال المساحية التي يبث فيها تيار متبادل ذو تردد عال إلى الأرض بواسطة "الازدواج القادر" (C – C) بدلاً من استخدام الطرق الكهرومغناطيسية، وهذا ما سوف نناقشه في هذا الفصل.

(٦,١) أسس إجراء المسح باستخدام التيار المباشر
DC Survey Fundamentals

(٦,١,١) المقاومية الظاهرية Apparent Resistivity

تفشل الطريقة "الظاهرية" لقياس المقاومة الأرضية، بإمرار تيار كهربي يتزامن مع قياس فرق الجهد بين الأقطاب الأرضية المفردة، في تحقيق الغرض منها، وهذا الفشل النسبي يرجع إلى قوة "المقاومة المماسية" (Contact resistance) الناشئة من تماس الأقطاب في أرض رطبة على سبيل المثال، حيث تزداد هذه المقاومة مع اتساع مساحة

سطح التماس، وقد تصل في بعض الأحوال إلى عدة آلاف أوم (Ohm). ويمكن تجنب هذه المشكلة بقياس فرق الجهد (Voltage) بين قطبين ثانويين وذلك باستخدام جهاز "فولتميتر ذو مقاومة ظاهرية عالية" (high – impedance voltmeter).

ولا يسجل هذا الجهاز عملياً أي تيار كهربي وبذلك يمكن إهمال هبوط فرق الجهد بين الأقطاب. وتقوم المقاومات عند أقطاب التيار (current electrodes) بإعاقة مرور التيار ولكنها لا تؤثر في قياسات المقاومة الكهربية. ولتحويل القراءات المقاسة من "ترتيبات" (arrays) "طريقة الأقطاب – الأربع" (four – electrode) إلى قراءات مقاومية فلابد من استخدام "عامل هندسي" (geometric factor).

هناك إمكانية لتفسير أي قياس لأي ترتيب على أنه يعزى إلى أرضية متجانسة لها مقاومة ثابتة. ويمكن اشتقاق العامل الهندسي المستخدم في حساب هذه "المقاومية الثابتة الظاهرية"(apparent resistivity) (P α)، من المعادلة :

$$V = \rho I / 2\pi \alpha$$

حيث تمثل (V) الجهد الكهربي لمسافة α من نقطة قطب على سطح "نصف فراغ متجانس" (uniform half – space) بمعنى (أرضية متجانسة) للمقاومة (ρ) وذلك (بمرجعية إلى صفر جهد عند المالانهاية). ويمكن لشدة التيار (I) أن يكون موجب (إذا دخل الأرض) أو سالب. أما بالنسبة للترتيبات، فإن قيمة الجهد عند أي "قطب جهدي" (voltage electrode) يساوي المجموع الكلي لمشاركات جميع أقطاب التيار الفردية. أما في حالة إجراء الأعمال المساحية باستخدام "طريقة الأقطاب – الأربع" لأرضية فإنه يمكن استخدام المعادلة :

$$V = I\rho(1/[Pp] - 1/[Np] - 1/[Pn] + 1/[Nn]) / 2\pi$$

حيث (V) تمثل الاختلاف في فرق الجهد بين القطبين وقيمتهما : (P)، (N) المتولد من شدة التيار (I) المار بين القطبين (p)، (n)، وتمثل القيمة داخل الأقواس المربعة المسافات البينية بين الأقطاب.

ولا تتأثر العوامل الهندسية بكل من المتغيرات الداخلة للتيار وأقطاب فرق الجهد أو "الأقطاب الجهدية" ولكن للحد من تأثيرات الجهد الطبيعي والإقلال منه فإنه لابد من الحفاظ على قصر المسافات البينية بين "الأقطاب الجهدية".

(٦,١,٢) ترتيبات الأقطاب Electrode Arrays

يوضح الشكل رقم (٦,١) بعض أنواع الترتيبات الشائعة الاستعمال وعواملها الهندسية. والأسماء المذكورة في هذا الشكل هي الأسماء الدارجة. فطريقة الديبول على سبيل المثال، يجب أن تتكون من قطبين منفصلين بمسافة يمكن إهمالها مقارنة بالمسافة التي بين أي قطبين آخرين.

وتطبيق المصطلح على طريقة ترتيبات ديبول - ديبول وطريقة ترتيبات بول - ديبول حيث تصل للقطب التالي عادة من مرة إلى ستة مرات قدر المسافة البينية للديبول، وهذا غير صحيح من الناحية الرسمية الإصلاحية. وبالرغم من ذلك فلا أحد يهتم بهذا الخطأ الدارج.

ويجب أن تكون المسافة إلى قطب ثابت (fixed electrode) في المالانهاية عشرة أضعاف على الأقل قدر المسافة بين أي قطبين متحركين، علماً بأن المسافة المثالية تصل إلى ٣٠ ضعفاً. ويمكن للأسلاك الطويلة المستخدمة أن تعوق العمل الحقلي، ويمكنها أيضاً أن تعمل كهوائيات تلتقط إشارات كهرومغناطيسية تائهة وتحدث "تشويش حثي" (inductive noise) حيث يمكن لهذا التشويش أن يؤثر على دقة القراءات.

المثال (٦,١):

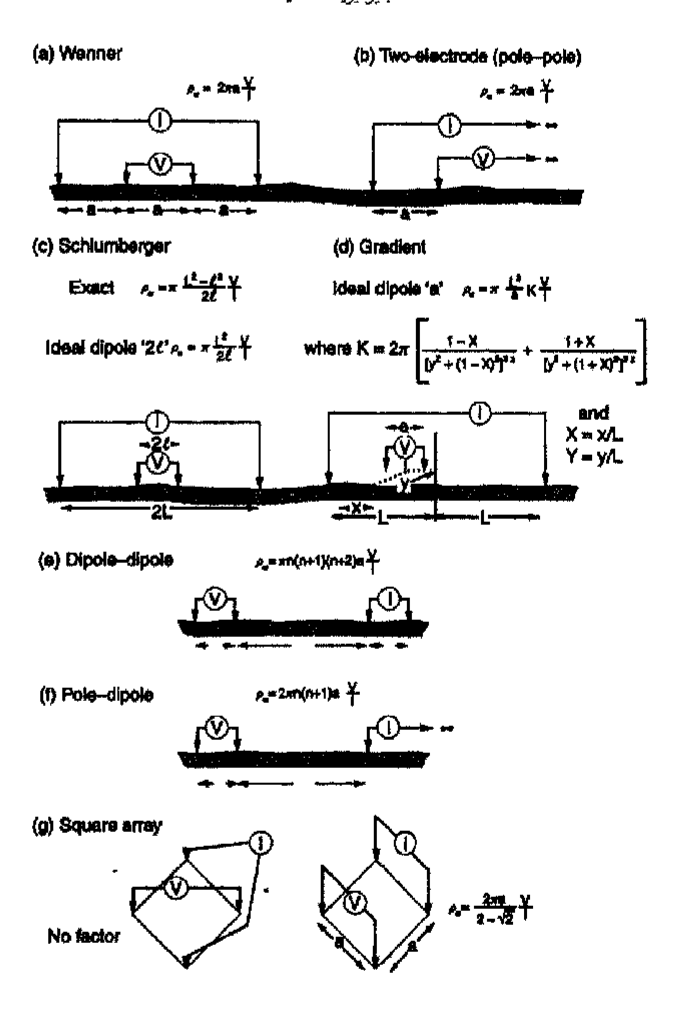
العامل الهندسي "لترتيب وينر" (Wenner array) (الشكل رقم ٦,١ ، a – p):

Pp=α　　Pn=2α

Np=2α　Nn=α

$$V = I\rho(1-\frac{1}{2}-\frac{1}{2}+1)/2\pi\alpha = I\rho/2\pi\alpha$$

حيث　$\rho = 2\pi a . V/I$



الشكل رقم (٦,١). بعض أشكال ترتيبات الأقطاب الشائعة وعواملها الهندسية مكتوبة عند كل نوع من هذه الترتيبات. (a) ترتيب "وينر" (b) ترتيب "القطبين المزدوجين" (c) ترتيب "شلمبرجير" (d) ترتيب "التدرج" (e) ترتيب "ديبول – ديبول" (f) ترتيب "بول – ديبول" (g) ترتيب المربع (الشكل الأيسر يمثل القطر، والأيمن يمثل الجوانب). ولا يوجد عامل هندسي للترتيب المربع القطري وذلك يرجع لعدم وجود اختلاف في فرق الجهد في مواقع ذات الأرضية المتجانسة.

(٦,١,٣) وصف الترتيبات (الشكل رقم ٦,١) Array Descriptions (Fig. 6.1)

ترتيب "وينر" Wenner Array

يستخدم هذه الترتيب على نطاق واسع وهناك مراجع كثيرة ومجموعات برامج كمبيوتر لخدمة تفسير نتائج هذه الترتيب. ويمكن اعتبارها ترتيب قياس يمكن الرجوع إليه لتقييم الترتيبات الأخرى.

ترتيب القطبين Two – Electrode (Pole – Pole)

يثير هذه الترتيب الاهتمام من الناحية النظرية حيث يمكن حساب النتائج من القراءات المأخوذة مباشرة على طول المقطع وهذه النتائج يمكن الحصول عليها من أي نوع آخر من الترتيبات، وعلى ذلك فإن العمل المنجز غالباً ما يكون وافياً بالغرض. ومع ذلك يمنع التشويش المتراكم الاستفادة من أي استخدام عملي لتطبيق هذه الحقيقة.

وينشأ هذا التشويش من إضافة عدد كبير من النتائج الخاصة باستخدام أقطاب شديدة الاقتراب من بعضها. وهذا النوع من الترتيبات شائع الاستخدام في مجال البحث عن الآثار، وهذا يرجع إلى أن هذه الطريقة مناسبة لهذا الغرض حيث تتميز بكونها عملية سريعة يقوم بها شخص واحد. كما تعتبر هذه الطريقة الاصطفافية العادية من الطرق النموذجية في عمليات سبر الآبار الكهربية (Electrical well logging).

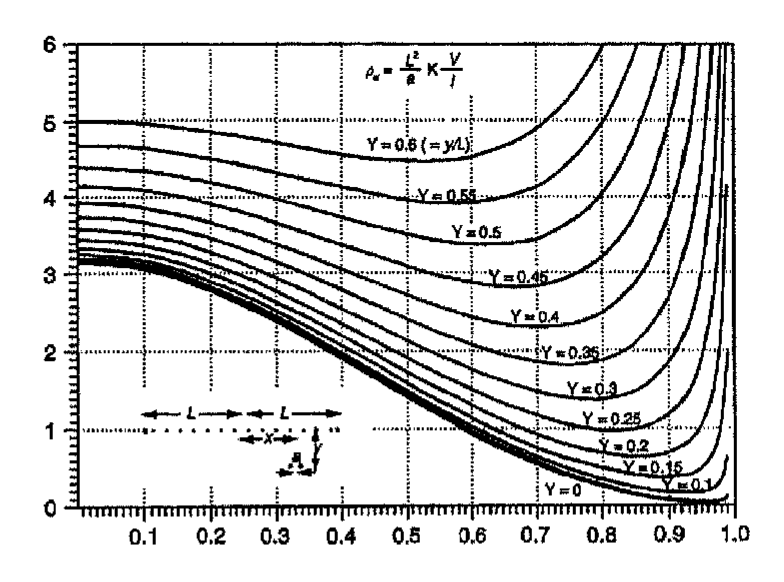
ترتيب شلمبرجير Schlumberger Array

هو الترتيب الوحيد الذي ينافس ترتيب "وينر" (Wenner) في إمكانية الحصول على معلومات تفسيرية، وكلا الطريقتين مرتبط بالترتيب المثالية التي تهمل فيها المسافة بين الأقطاب الداخلية. ويفضل استخدام هذه الطريقة في الأعمال الكهربية الخاصة بسبر العمق (depth – sounding) مثلها في هذا مثل طريقة "وينر".

ترتيب التدرج Gradient Array

يستخدم هذا الترتيب على نطاق واسع في المسح الاستطلاعي المبدئي (reconnaissance)، حيث يمكن أخذ عدد كبير من القراءات على امتداد قطاعات

متوازية بدون تحريك أقطاب التيار الكهربي، وذلك إذا توافرت مولدات للطاقة الكهربية. ويوضح الشكل رقم (٦,٢) كيفية تغيير العامل الهندسي المشار إليه في الشكل رقم (٦,١)، مع مواقع "الديبول الجهدي" (Voltage dipole).



الشكل رقم (٦,٢). رسم بياني يوضح العلاقة بين تغيرات العامل الهندسي في ترتيب "التدرج" وبين المسافة الموازية أو القاطعة. الطول الكلي للترتيب هو (٢١)، وطول ديبول فرق الجهد هو (a).

ترتيب ديبول – ديبول (إيلتران) Dipole – Dipole (Eltran) Array

هذه الترتيب شائعة الاستخدام في الأعمال المساحية لطريقة "الاستقطاب الحثي" (induced polarization) أو (IP)، وذلك يرجع إلى إمكانية الفصل الكامل لكل من دوائر التيار الكهربي ودوائر فرق الجهد (Voltage) الذي بدوره يقلل من حساسية التأثير الناشئ من التشويش الحثي (inductive noise). ومن خلال هذه الترتيب يتوافر كمية

معتبرة من المعلومات الاستقرائية. ويتم الحصول على معلومات عن مختلف الأعماق عن طرق تغير قيمة (n). ومبدئياً، فإن القيمة الأعلى لـ (n) تدل على عمق أكبر لاختراق التيار الكهربي الذي يمر بالمنطقة. وعادة ما توقع النتائج على هيئة "قطاعات كاذبة" (Pseudo – sections) كما سيتم شرحه في العنوان (٧،٥،٢).

ترتيب البول – ديبول Pole – Dipole Array

ينتج عن هذه الترتيب "شذوذ غير متماثل" (asymmetric anomalies) يترتب عليه صعوبة أكبر في التفسير عن تلك المستنتجة من الترتيبات المتماثلة. تبزغ القمم (peaks) عند مراكز الأجسام الموصلة للكهربية أو الأجسام المشحونة ولذلك يجب تسجيل مواقع الأقطاب بحرص وعناية.

وتوقع قيم النتائج عادة عند النقط الوسطية بين أقطاب فرق الجهد المتحركة (moving voltage electrodes) ولكن هذا الإجراء غير متفق عليه عالمياً. ويمكن تمثيل النتائج على هيئة "قطاعات كاذبة" حيث يتغير عمق الاختراق عن طريق تغير (n).

ترتيب التربيعية Square Array

تضم بطريقة متنوعة أربعة أقطاب موضوعة عند أركان مربع، على أن يكون هذا الترتيب على هيئة قطبين للتيار وقطبين لفرق الجهد. ويتم زيادة العمق عن طريق توسعه المربع. حيث يتم تحريك كامل للأربعة أقطاب في كل توسعه، جانبياً أثناء مسح القطاع الكهربي. وعلى الرغم من عدم الراحة عند تنفيذ هذا النوع من الترتيب إلا أنها تمد الخبير المتمرس بمعلومات هامة جداً عن عدم تجانس التربة وعدم تماثلها (anisotropy). ومن الملاحظ قلة المعلومات والمنحنيات القياسية لحالات قليلة منشورة عن هذا الموضوع.

ترتيب الأقطاب المتعددة Multi- Electrode Arrays (Not Shown)

يشبه هذا الترتيب ترتيب وينر (Wenner) ولكنه مزود بأقطاب مركزية إضافية. وتعطي للاختلافات في فرق الجهد من المركز إلى قطبي الجهد العاديين قياساً لعدم التجانس الأرضي. ويمكن جمع القيمتين عند تطبيق معادلة وينر (Wenner formula).

ترتيب ونر التعويضية Offset Wenner

يشبه هذا الترتيب ترتيب "ليه" (Lee array) ولكنه يتميز بأن المسافات البينية بين الأقطاب الخمسة جميعاً متساوية. وتجرى القياسات باستخدام الأقطاب الأربعة على الجهة اليمنى والأقطاب الأربعة على الجهة اليسرى بطريقة منفصلة حيث تؤخذ متوسطات ترتيبات وينر القياسية للحصول على قيم المقاومة الظاهرية (apparent resistivity)، وباختلافها يمكن الحصول على قياس نموذجي لتباين الأرض الكهربي.

ترتيب التركيزية Focused Arrays

في هذه الترتيب يعاد تصميم الترتيب ذات "الأقطاب المتدرجة" المفترض فيها تركيز التيار الكهربي داخل الأرض والحصول على اختراق عميق بدون توسعه كبيرة. ولابد من تنفيذ العمل في هذه الترتيب تحت إشراف فني وإرشاد وتوجيه من قبل خبراء لهم خبرة طويلة في تفسير النتائج.

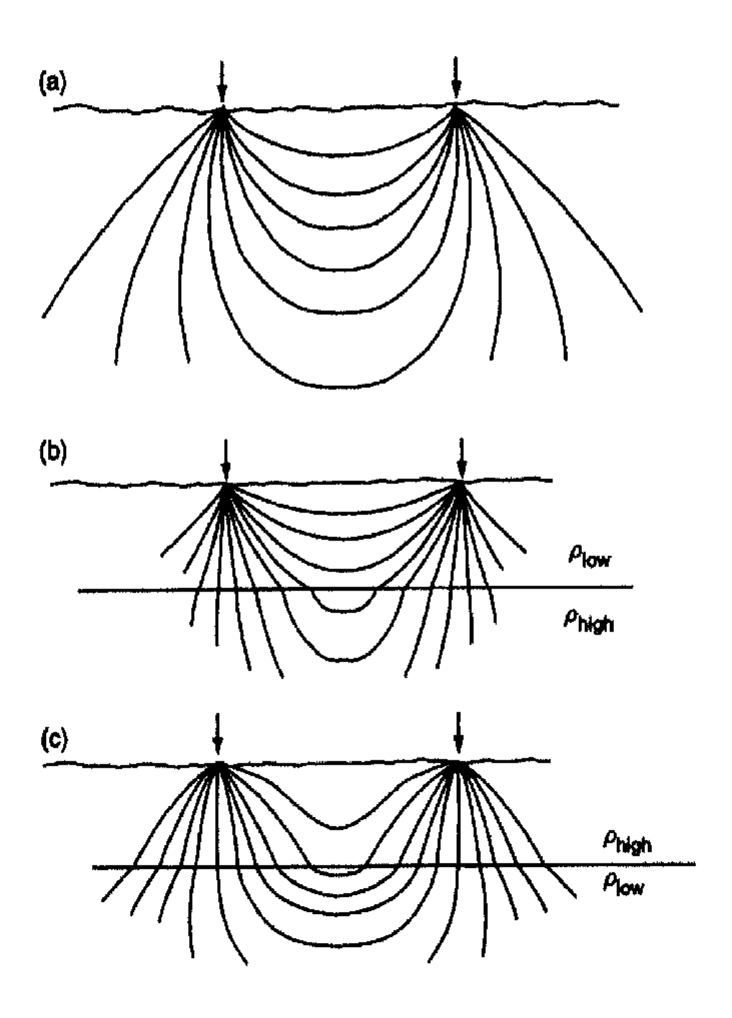
(٦,١,٤) قطاعات إسهام الإشارة Signal – Contribution Sections

تتضح أشكال مسار التيار الكهربي خلال طبقة وطبقتين من طبقات الأرض في الشكل رقم (٦,٣). ويؤثر عدم التجانس بالقرب من سطح الأرض بقوة في اختيار الترتيب.

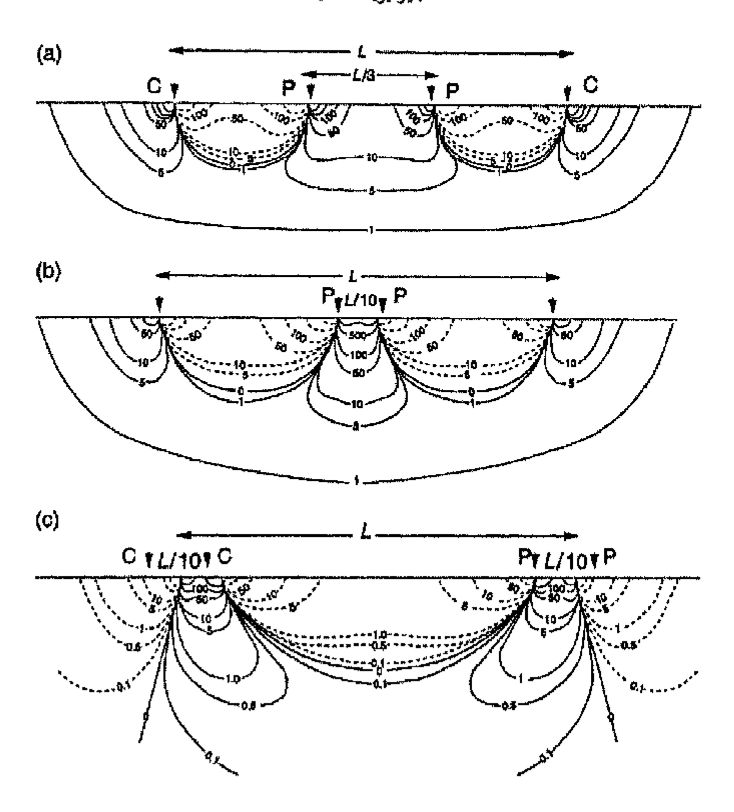
ويعبر عن تأثيرات عدم التجانس بيانياً بخطوط كنتورية لمساهمات الإشارة (Signal contribution) المتولدة عن كل وحدة حجوم أرضية لفرق الجهد المقاس (measured voltage)، وبالتالي للمقاومة الظاهرية (الشكل رقم ٦,٤). تظهر خطوط الكنتور في الترتيبات الخطية بنفس المظهر في أي مستوى، رأسياً كان أو أفقياً أو مائلاً خلال خط الأقطاب (أي أنها على هيئة أشباه دوائر عند نهايات الترتيب).

وأول نتيجة لها معنى في الشكل رقم (٦,٤) هي استحالة إجراء مسح المقاومة الكهربية المفيد في حالة اتساع المساهمات الناتجة من المناطق الملتصقة بالأقطاب. ويمكن أن تقبل هذه الحقيقة من بعض العملاء ويمكن العكس. ومع هذا فإن التنوع مع العلامة الدالة ضمناً على أن التوصيل الكهربي بالقرب من سطح الأرض، سيرفع المقاومية

الظاهرية في بعض الأماكن وسيحفظها في البعض الآخر، علماً بأنه يمكن إهمال هي التأثيرات تماماً في الأرض المتجانسة.



الشكل رقم (٦,٣). أشكال مسار التيار الكهربي خلال طبقة وطبقتين من طبقات الأرض غير المتجانسة والمتجانسة: (a) متجانسة لنصف مسافة. (b) طبقتين أرضيتان العليا منهما لها مقاومية منخفضة. (c) طبقتان أرضيتان العليا منهما لها مقاومية مرتفعة.



الشكل رقم (٦,٤). قطاعات مساهمات الإشارة لكل من: (a) ترتيب "وينر" (b) ترتيب "شلمبرجير" (c) ترتيب "ديبول – ديبول" وتدل خطوط الكنتور على المساهمة النسبية للإشارة من وحدة الحجوم في الأرض المتجانسة. وتدل الخطوط المشرطة على القيم السالبة.

تختلف وتتنوع المساهمات من الأجسام القريبة من سطح الأرض من قراءة إلى أخرى كلما اتسعت الترتيبات وتحركت الأقطاب في ترتيب وينر (Wenner) أو ترتيب ديبول – ديبول. بينما يقل كثيراً هذا التنوع في التأثيرات الناشئة من سطح الأرض في ترتيب "شلمبرجير"، وذلك بشرط أن تتحرك فقط الأقطاب الخارجية. ولهذا السبب فإنه غالباً ما يفضل استخدام هذه الترتيبات في أعمال الجس العميق (depth sounding).

ومع ذلك، تتيح تطبيقات "تقنيات التعويض"(effect techniques) (فقرة ٦,٣) مع استخدام ترتيب وينر (Wenner) الحصول على نتائج ممتازة.

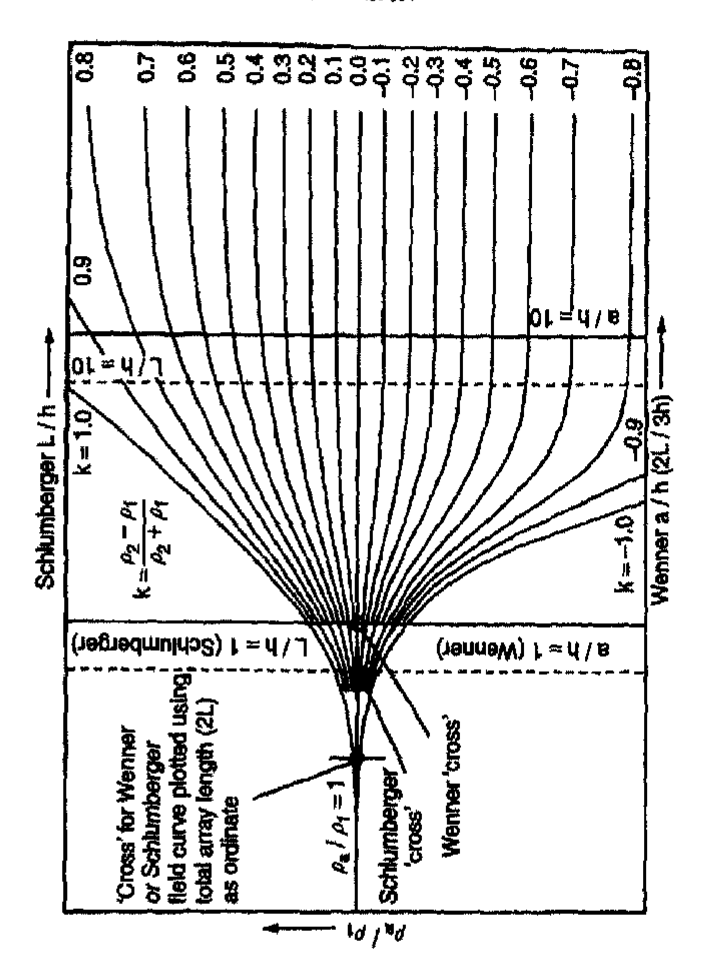
عند استخدام ترتيب التدرج (gradient) أو ترتيب القطبين (two – electrodes) في إعداد قطاعات كهربية تتعاظم تأثيرات سطح الأرض والأجسام القريبة منه على هذه القطاعات، ولكنها تكون تأثيرات محلية، ويمكن تجنبها أو الإقلال منها باستخدام مرشح ملطف (smoothing filter).

(٦,١,٥) عمق الاختراق Depth Penetration

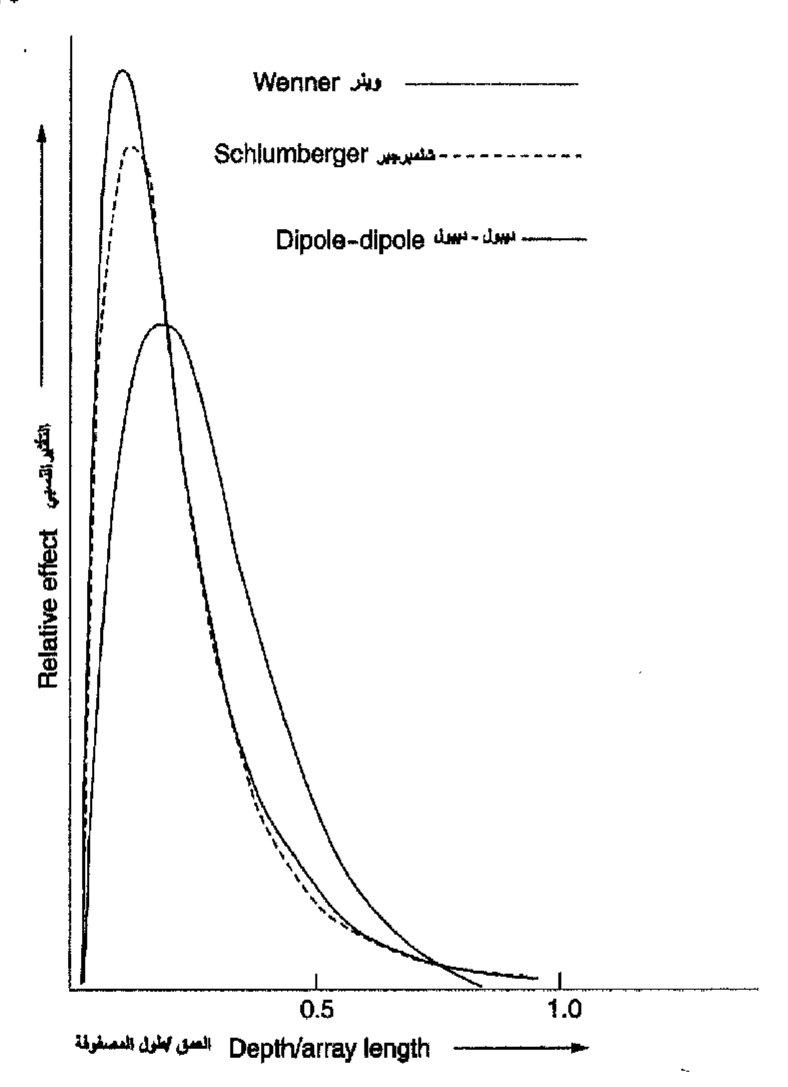
عادة ما يتم اختيار نوع الترتيب المستخدمة على أساس عمق الاختراق المطلوب. ولما كان عمق الاختراق يعتمد على عوامل كثيرة منها نوع وطبيعة طبقات الأرض (layering) وكذلك على المسافات البينية التي تفصل بين أقطاب التيار، وكذلك يصعب تحديد هذا العمق مقدماً بدقة.

ومن الناحية الأخرى تحدد مواقع أقطاب الجهد أي الأجزاء من طبقات الأرض يسرى فيها التيار الكهربي. وهكذا يتشابه عمق الاختراق إذا تشابهت طول الترتيب في كل من ترتيب وينر (Wenner)، وترتيب شلمبرجير (Schlumberger). وتعتمد التوسعة في كل من هذين النوعين من الترتيبات على التباين في المقاومة (والمستويات البينية بين الأقطاب الخارجية (الشكل رقم ٦,٥). ويحتاج التحديد الكمي لتباين المقاومة على توسعة كبيرة للأقطاب.

في أي توسعة لتوزيع الأقطاب، يصل تأثير طبقة أفقية رقيقة ذات مقاومة مختلفة وسط أرضية متجانسة إلى أقصى مداه. وفي هذه الحالة يحتاج الأمر إلى توسعة أكبر بكثير من تلك التي يحتاجها تعيين سطح فاصل لطبقة ما، ويؤيد ذلك ما هو ظاهر في المنحنى المرسوم في الشكل رقم (٦,٦) لترتيبات وينر (Wenner)، وشلمبرجير وديبول – ديبول. وبهذا المعيار فإن ترتيب ديبول – ديبول هى أكثر الترتيبات قدرة على الاختراق بينما ترتيب "وينر" أقلهم في هذا الشأن.



الشكل رقم (٦,٥). منحنيات نوع طبقتي المقاومة الظاهرية لترتيب وينر للمساعدة في تحديد عمق الاختراق، وقد رسمت هذه المنحنيات على ورق لوجريثمي. عندما توضع هذه المنحنيات على منحنى الحقل الناتج من طبقتي الأرض فإن الخط (1 = a/h) يشير إلى عمق مستوى الانفصال، وخط (1 = ρa/ ρ1) يشير إلى مقاومة الطبقة العليا. وتعطى القيمة (k) أفضل تطابق للمنحنى الحقلي يسمح بحساب قيمة (ρ_2) الخاصة بمقاومة الطبقة السفلي. ويمكن استخدام نفس المنحنيات للتقريب الجيد للتحديد عمق الشلمبرجير مع عمق المستوى الفاصل المعطى بالخط (1= L/h).



الشكل رقم (٦،٦). رسم بياني يوضح منحنى "وينر" الذي يتميز بمقاومته الحادة حيث يظهر التأثير النسبي للطبقة الرقيقة ذات المقاومة الأفقية العالية في أرضية متجانسة. والمساحات تحت المنحنيات متساوية، ويحجب الحقيقة أن فرق الجهد المشاهد باستخدام ترتيب شلمبرجير ستكون أقل وباستخدام ديبول – ديبول أقل كثيراً عن ترتيب وينر.

وتوجد قمة منحنى ترتيب وينر (Wenner) عندما يصل طول الترتيب إلى عشرة أضعاف عمق الموصل (Conductor)، وترتيب شلمبرجير هو فقط أفضل قليلاً. ويقترح الشكل رقم (٦,٥) أنه من خلال هذه التوسعات يمكن تفسير تواجد طبقتين عن طريق تحديد أعلى قيم لتباين المقاومة.

ويوضح الشكل رقم (٦,٦) "منحنى وينر" الذي يتميز بقمته الحادة مما يدل على قوة عزم رأسية عليا. ويتأكد ذلك بخطوط الكنتور لمساهمات الإشارة كما هو واضح في الشكل رقم (٦,٤) حيث تبدو هذه الخطوط مع العمق أقل تفلطحاً في ترتيب "وينر" عنها في ترتيب شلمبرجير، مما يدل على أن ترتيب "وينر" لها القدرة على تحديد مستويات التداخل المسطحة بشكل أكثر دقة.

وتبدو الخطوط الكنتورية لمساهمات الإشارة في ترتيب ديبول – ديبول رأسية تقريباً في بعض الأماكن مع الأعماق الكبيرة مما يدل على افتقار درجة الوضوح الرأسي، وعلى الإيحاء بأن هذه الترتيب هو الأكثر ملاءمة لتسجيل التغيرات الجانبية على خرائط.

(٦,١,٦) التشويش في الأعمال المساحية الكهربية Noise in Electrical Surveys

يمكن مبدئياً تحديد وضع الأقطاب على سطح الأرض تحديداً يتفق مع مستوى الدقة المطلوبة (على الرغم من احتمال ورود أخطاء، حيث يزداد هذا الاحتمال كلما زادت المسافة الفاصلة بين الأقطاب).

تعطى الأجهزة الأكثر حداثة تياراً كهربياً على مستوى محدد من بين عدة مستويات معروفة من قبل حيث تكون الذبذبة في هذا التيار قليلة أو منعدمة تقريباً. وتدخل قيم التشويش عندئذ في قيم المقاومة الظاهرية بشكل شبه كامل عن طريق قياسات فرق الجهد، حيث تتحدد قيم الحدود النهائية عن طريق حساسية جهاز الفولتميتر (Voltmeter sensitivity).

وهناك تشويش نابع أيضاً من التأثير الحثي للأسلاك الكهربية ونابع أيضاً من فرق الجهد الطبيعي الذي قد يتغير بالزمن، وعلى ذلك قد يلغى التشويش بشكل شبه كامل عن طريق عكس اتجاه التيار وأخذ متوسطات للقراءات. وللمساعدة أيضاً في الإقلال من التشويش أو إلغائه يجب استخدام المسافات الطويلة بين الأقطاب وكذلك استخدام الأسلاك الطويلة كلما أمكن ذلك.

من أكثر الطرق المؤثرة لتحسين النسبة بين الإشارة والتشويش طريقة زيادة قوة الإشارة (Signal strength). وتزود الأجهزة غالباً وخاصة الحديثة منها بكاشف يظهر قراءات النسبة بين فرق الجهد وشدة التيار (V/I) مباشرة وهي مقاسة بالأوم وعلى ذلك فإنها تميل إلى إلغاء أهمية فرق الجهد. وتدل القيم الصغيرة للأوم على فرق جهد قليل ولكن يجب الأخذ في الاعتبار أيضاً مستويات شدة التيار.

وهناك محددات فيزيائية لمقدار شدة التيار الذي يمكن بثه في الأرض بواسطة الجهاز المستخدم، ولعله من الضروري اختيار ترتيبات تعطى فرق جهد كبير لشدة التيار المعطى، كما يتعين ذلك من العامل الهندسي. وفي هذا الخصوص فإن ترتيبي "وينر" و"القطبين" تسجلان أعلى ميزة من بين معظم الترتيبات الأخرى.

وإذا تساوت أطوال ترتيبي "شلمبرجير" و"وينر" فإن فرق الجهد المقاس لشدة تيار معين باستخدام الترتيب الأولى دائماً ما تكون أقل من تلك المقاسة للترتيب الأخير، وذلك يرجع لصغر المسافة بين أقطاب فرق الجهد. وتعتمد المقارنة في ترتيب ديبول – ديبول على قيمة العامل (n)، ولكن حتى عندما تكون ($n = 1$) (وذلك لترتيب تشبه تماماً ترتيب وينر (Wenner) في المظهر) فإن قوة الإشارة تكون أصغر من تلك القوة الخاصة بترتيب وينر بمقدار العامل ثلاثة (factor of three).

تعد الفروق بين "ترتيب التدرج" الاستطلاعية و"ترتيب القطبين" واضحة بشكل لافت للنظر. فإذا كانت المسافات إلى الأقطاب الثابتة تعادل ٣٠ ضعف المسافة البينية

للديبول، فإن إشارة فرق الجهد في ترتيب القطبين تعادل أكثر من ٥٠ ضعف تلك الإشارة الخاصة "بترتيب التدرج" لنفس شدة التيار المستخدم.

ومع ذلك فإن سلك فرق الجهد الخاص "بترتيب التدرج" أقصر في الطول وأسهل في الحمل وأقل تأثيراً من التشويش الحثي (inductive noise). وفي هذا الترتيب أيضاً يمكن استخدام شدة تيار أكبر بطريقة آمنه وذلك لعدم حركة أقطاب التيار الكهربي.

(٦,٢) إعداد قطاعات المقاومة
Resistivity Profiling

تستخدم قطاعات المقاومة الكهربية لتحديد التغيرات الجانبية. عندما تظل عوامل الترتيب (Array parameters) ثابتة، يعتمد تنوع عمق الاختراق على طبيعة الطبقات التحت سطحية. ويمكن الحصول على بيانات العمق من القطاع الذي يتضمن طبقتين فقط معروف لهما قيمة المقاومة الثابتة حيث يمكن تحويل كل قيمة من قيم المقاومة الظاهرية إلى قيمة للعمق، وذلك باستخدام منحنى نموذج الطبقتين (الشكل رقم ٦,٦).

ومع ذلك فإنه يجب مراجعة هذه التقديرات للقيم المستنتجة في كل فترة مع مرجعية نتائج نموذج الجس الرأسي باستخدام الترتيبات الموسعة المشار إليها في العنوان رقم (٦,٣).

(٦,٢,١) رصد الأهداف Targets

من الأهداف النموذجية تعين حد فاصل مائل بشدة بين نوعين من الصخور لهما مقاومة كهربية شديدة الاختلاف ومتواجدين تحت غطاء رقيق من الرواسب المتجانسة نسبياً ويمكن إهمال أو إلغاء تأثير هذا الغطاء. وقد تتواجد هذه الأهداف بالفعل، وخاصة في البيئات التي يغيرها الإنسان. ومع ذلك فإن التغيرات في المقاومة الظاهرية التي تعزى إلى التغيرات الجيولوجية محل الاهتمام غالباً ما تكون ضئيلة، ويجب تمييزها عن الخلفية المحيطة بها والناشئة من مصادر جيولوجية أخرى.

وقد تتواجد أجسام محددة الشكل والامتداد ولها مقاومة عالية إذا ما قورنت بالأجسام التي تحتويها، ولكنها ضئيلة الحجم مما أدى إلى صعوبة تمييزها وتحديد موقعها بدقة. ومن أمثلة هذه الأجسام الضئيلة عدسات من الحصى في طبقات من الطين، وكهوف في حجر جيري وغيرها.

أما الأجسام الصغيرة شديدة الجودة للتوصيل الكهربي مثل (بمقاييس مختلفة) براميل زيت وكتل خام الكبريت، عادة ما يستدل عليها بطريقة أكثر سهولة عن طريق استخدام طرق المسح الكهرومغناطيسي (الفصل الثامن).

(٦,٢,٢) اختيار الترتيب Choice of Array

الترتيبات المثالية الاستخدام لتنفيذ قطاعات المقاومة الكهربية هي تلك التي يمكن تحريكها بسهولة كبيرة. "فترتيب التدرج" والذي يستخدم فيه قطبان متحركان فقط بينهما مسافة صغيرة ومتصلين بسلك متحرك، فقط هو الترتيب المرشح لتحقيق هذا الغرض. ومع ذلك فإن المساحة من الأرض التي يمكن تغطيتها بهذه الطريقة صغيرة، علاوة على أن التيار الكهربي المستخدم يتولد من مولد كهربي له موتور ثقيل.

وقد أصبح "ترتيب القطبين" على ذلك الآن هو الترتيب المناسب المختار في أعمال البحث عن الآثار المدفونة حيث يكون العمق المطلوب البحث فيه قليل. ويجب أخذ الحذر الشديد عند تناول الأسلاك الطويلة الموصلة للأقطاب (في المالانهاية)، ولكن كمية كبيرة من القراءات يمكن الحصول عليها بطريقة سريعة وذلك باستخدام إطار صلب يوضع فوقه القطبين وغالباً ما يثبت على هذا الإطار الجهاز الأم وجهاز مسجل البيانات (انظر الشكل رقم ٥,١).

يتم تحريك الأقطاب الأربعة على السواء في ترتيب وينر (Wenner)، وعلى الرغم من ذلك فإن حدوث أخطاء غير وارد، وذلك يرجع لثبوت المسافة البينية بين الأقطاب جميعاً. ويمكن أن تصف مقدماً قطاعات كاملة، بشرط أن يستخدم تيار (DC) أو تيار

(AC) منخفض التردد جداً حتى لا يصبح التأثير الحثي مشكلة، ويمكن الإسراع في العمل عن طريق قطع الأسلاك عند أطوال معينة مرغوب فيها، وربطها معاً مرة ثانية، أو باستخدام أسلاك "متعددة اللب" (multicore cables) مصممه لها الغرض.

تستخدم ترتيب الديبول – ديبول عموماً في أعمال (IP) (انظر الفصل السابع)، حيث يجب تجنب التأثيرات الحثية بأي وسيلة وبأي تكلفة. كما يجب تحريك الأقطاب الأربعة، وعادة ما يكون فرق الجهد المشاهد ضئيل جداً.

(٦,٢,٣) ملاحظات المقاطع الحقلية Traverse Field Notes

تظل جميع عوامل الترتيب المستخدمة ثابتة طوال عملية القياس على نفس المقطع، ويمكن كتابة نوع الترتيب المستخدم، والمسافات البينية، وشدة التيار السائد، ومدى حدود فرق الجهد على رؤوس الصفحات في كراسة الحقل.

ومن الناحية المبدئية، يجب تسجيل كل من أرقام المحطات، والملاحظات وقراءات ($^V/_I$) التي يلزم تسجيلها عند كل محطة، كما يجب أخذ ملاحظات لأي تغيرات تحدث في شدة التيار أو في وضعية فرق الجهد حيث أن هذه التغيرات تؤثر في مصداقية القراءات المأخوذة.

يجب كتابة التعليقات والملاحظات عند كل تغير لطبيعة التربة ونوعيتها، وكذلك التغيرات في مستوى التخضر (vegetation) أو طوبجرافية المنطقة، والأراضي الزراعية والكثافة السكانية وكلها عوامل غير جيولوجية لها تأثير غير متوقع.

وتدوين هذه الملاحظات عادة ما ستكون من مسئولية الشخص القائم على تشغيل الجهاز الذي سيكون بصفة عامة في موقع يسمح له بفحص كل موقع على امتداد المقطع كله. وحيث أن أي ملحوظة مدونة حول أي نقطة حقلية سوف يعتني بوصفها وربط هذا الوصف بالبيئة المحيطة بصفة عامة فإنه يلزم التزود بخريطة تخطيطية ووصف عام للمنطقة.

وعند استخدام إطار تثبيت الأقطاب (Frame – mounted electrodes) بغرض الحصول على قراءات سريعة ومتقاربة من بعضها البعض، فإن النتائج عادة ما تسجل مباشرة على جهاز مسجل البيانات (data logger) ويصبح الوصف والرسم التخطيطي غاية في الأهمية.

(٦,٢,٤) عرض معلومات المقطع Displaying Traverse Data

تعرض معلومات مسح المقاومية الكهربية بطريقة واضحة ومفيدة على هيئة قطاعات تحفظ جميع ملامح وخصائص البيانات الأصلية. ويمكن تقديم قطاعات المقاومة الكهربية وطوبجرافية المنطقة معاً من خلال الطبعات المختصرة لكراسات الحقل.

ويمكن عرض المعلومات المجمعة عن عدد من القطاعات المسحية عن طريق رسم عدة قطاعات (بروفيلات) متراصة (stacked profiles) على خريطة تخطيطية أساسية (base map)، فقرة (١,٣,١٠)، وفي هذه الحالة ستقل الفراغات في الصفحة التي كان يمكن أن تسجل فيها الملاحظات على الهوامش.

وستظهر اتجاهات الامتداد (Strike directions) لخصائص المقاومة ودرجة التوصيل الكهربي من خلال خطوط الكنتور بصورة أوضح من مثيلتها على القطاعات المتراصة. ويجب توضيح خطوط القطاع ومواقع نقط جمع البيانات (المحطات) على الخرائط الكنتورية. وقد يظهر الاختلاف بشكل بين على الخرائط المعدة لنفس المنطقة ولكن باستخدام ترتيبات موزعة في اتجاهات مختلفة.

(٦,٣) عمق الجس الكهربي باستخدام طرق المقاومية الكهربية
Resistivity Depth Sounding

تحدد طريقة الجس الكهربي العميق باستخدام المقاومة الكهربية مواضع الطبقات الأرضية وذلك باستخدام ترتيب الأقطاب التي تزيد فيها المسافات البينية بين بعض أو كل أقطابها بطريقة تصاعدية منتظمة. وتوقع قيم المقاومة الظاهرية مقابل

التوسعة على ورق لوجرثمي - لوجرثمي (Log – log)، وتقارن مع المنحنيات القياسية (الشكل رقم ٦,٥).

وعلى الرغم من استخدام الأسلاك المتعددة اللب (multicore) واختيار المفتاح قد شجع في استخدام التضاعف البسيط في المسافات البينية للأقطاب أثناء عملية التوسعة، إلا أن المسافات البينية اللوغريتمية لازالت هي السائدة. ويمكن أن تكون أنصاف تربيعات المسافات ١، ١,٥، ٢، ٣، ٥، ٧، ١٠، ١٥ مناسبة لهذا الغرض إلا أن بعض تفسيرات البرامج تحتاج مسافات لوغريتمية دقيقة. ومتتابعات القراءة من ٥ و٦ حتى ١٠ هي: ١,٥٨، ٢,٥١، ٣,٩٨، ٦,٣١، ١٠,٠، ١٥,٨ ....& ١,٤٧، ٢,١٥، ٣,١٦، ٤,٦٤، ٦,٨١، ١٠,٠، ١٤,٧ على التوالي.

ويمكن أن يتم رسم المنحنيات للقراءات المأخوذة على أساس مسافات بينية أخرى، متشابه إلا أن من مميزات استخدام المسافات البينية اللوجريثمية أنه يمكن استخدام النتائج الحقلية مباشرة. وعلى الرغم من أن هناك تطور لتفسير الطبقات المائلة، إلا أن الجس الرأسي العميق التقليدي يطبق بصورة جيدة عندما تكون أسطح الطبقات أفقية تقريباً.

(٦,٣,١) اختيار نوع ترتيب الأقطاب Choice of Array

وحيث أن الجس الرأسي العميق يشمل التوسع (الزيادة المطردة) في المسافات البينية بين الأقطاب حول نقطة مركزية (centre point)، فإن الجهاز يظل في موضعه بصفة عامة طوال عملية القياس للقطاع الواحد. ولذلك تكون قابلية حمل الجهاز بسهولة من عدمه أقل أهمية من طريقة أخذ القطاعات عند اختيار نوع الترتيب.

فترتيب وينر (Wenner) هو الشائع جداً ولكن من أجل سرعة الإنجاز وراحة الأشخاص فأن ترتيب شلمبرجير التي يتحرك فيها قطبين فقط غالباً ما تفضل. وعلاوة على ذلك تتوافر مراجع للتفسير، وبرامج الكمبيوتر والمنحنيات القياسية بشكل كبير

لكل من المصفوفتين. وتسبب التنوعات في المقاومة الأرضية للتربة المحلية القريبة من سطح الأرض تشتت (noise) يبلغ مداه قيمة أكبر من الاختلافات بين منحنيات الطريقتين.

غالباً ما يعتمد (يقيد) اتجاه الترتيب على الظروف المحلية، وقد يكون هناك اتجاه وحيد توضع الأقطاب من خلاله على مسافات كافية على خط مستقيم. وإذا كانت هناك فرصة لاختيار اتجاه الترتيب فإنه يفضل بل يجب أن تمتد موازية لاتجاه امتداد الطبقات (strike direction)، وذلك للإقلال من تأثير التطابق غير الأفقي. ومن المرغوب فيه بشكل عام إجراء "توسعة" ثانوية مائلة (orthogonal) على اتجاه امتداد الطبقات وذلك للتأكد من تأثير الاتجاهات حتى لو كان طول الخط المتاح محدود في هذا الاتجاه.

لا تستخدم ترتيب ديبول – ديبول ولا ترتيب القطبين في الأعمال العادية للجس الرأسي باستخدام التيار (DC). وستناقش ترتيب ديبول – ديبول والتي نحصل منها على قطاعات كاذبة للعمق والمستخدم بكثرة في المسح الكهربي (IP) (فقرة ٧,٤,٢).

(٦,٣,٢) استخدام ترتيب شلمبرجير Using the Schlumberger Array

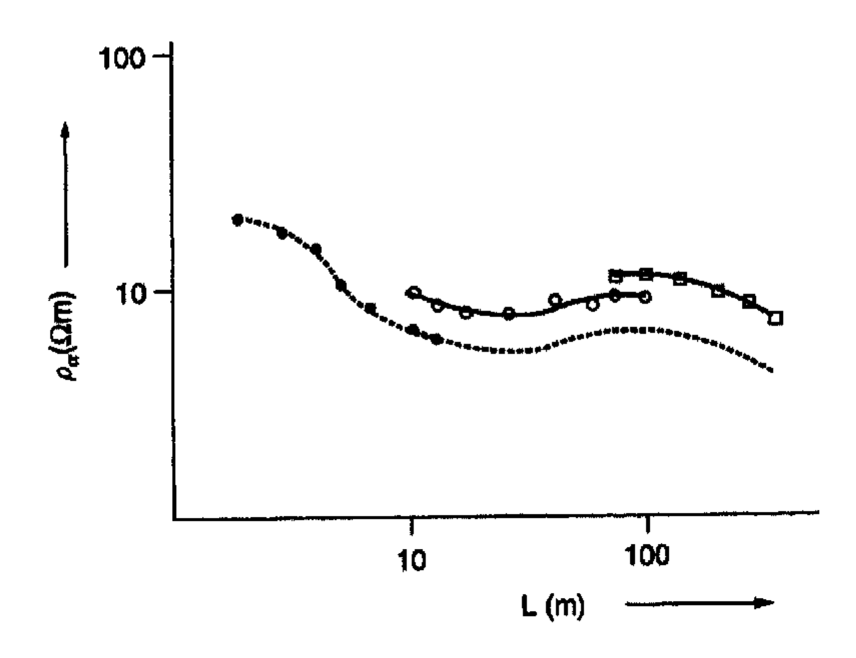
إذا كان اختيار الموقع في غاية الأهمية بالنسبة لجميع طرق الجس الرأسي (sounding work) فإن له أهمية خاصة وحرجة عند تطبيق ترتيب شلمبرجير، والتي تتميز بحساسيتها المفرطة للوضع البيئي المحيط حول الأقطاب الداخلية المتقاربة.

فعندما تكون الطبقة العليا (السطحية) غير متجانسة بشكل مبالغ فيه يكون الموقع في هذه الحالة غير مناسب بالنسبة للترتيب المركزي. وعلى ذلك فإنه يفضل تطبيق ترتيب "وينر" التعويضي (فقرة ٦,٣,٣) عند التعامل مع حالات مواقع الردم والمخلفات الصلبة (Land – fill sites) وهي مواقع غير متجانسة على الإطلاق.

وعادة ما تحسب المقاومة الظاهرية لترتيب شلمبرجير من "المعادلة التقريبية" المذكورة في الشكل رقم (C ٦,١)، التي تطبق بطريقة محددة فقط إذا أدت الأقطاب الداخلية إلى تكوين ديبول نموذجي يمكن إهمال طوله. فعلى الرغم من إمكانية

الحصول على قيم دقيقة للمقاومة الظاهرية وذلك باستخدام "معادلة دقيقة" إلا أنه لا داعي للحصول على تفسير أكثر مصداقية من ذلك المستنتج من "المعادلة التقريبية" حيث أن جميع المنحنيات النموذجية قد تأسست على الديبول النموذجي (ideal dipole).

وفي ترتيب شلمبرجير الأساسي يتم توسيعه بتحريك الأقطاب الخارجية فقط، ولكن بزيادة التوسعة إلى حد معين سيصبح فرق الجهد ضئيل جداً لدرجة أنه يصعب قياسه بدقة ما لم يتم توسعه الأقطاب الداخلية أيضاً بتحريكها خارجياً إلى مسافات أبعد حتى يمكن قياس فرق الجهد. وهكذا سيتكون المنحنى من عدد من القطع (segments) أو الفصوص المنفصلة (الشكل رقم ٦,٧).



الشكل رقم (٦,٧). طريقة بناء منحنى كامل لتحديد العمق في طريقة شلمبرجير وذلك عن طريق تحريك القطع إلى أسفل لاستكمال امتداد المنحنى.

وحتى إذا كانت أرض المنطقة مكونة من عدة طبقات متجانسة داخلياً بشكل محكم، فإن هذه القطع ستظل منفصلة (على المنحنى) لأن التقريب المطبق في استخدام معادلة الديبول مختلف عن اختلاف النسبة $^{l}/_{L}$.

وهذا التأثير أقل أهمية بصفة عامة من ذلك التأثير الناجم من عدم تجانس التربة حول "أقطاب فرق الجهد" (potential electrodes). ومن أجل إجراء التفسير يمكن دمج هذا "القطع" معاً وذلك عن طريق تحريكه كاملا على امتداده موازيا لمحور المقاومة حتى يتكون منحنى متصل واحد.

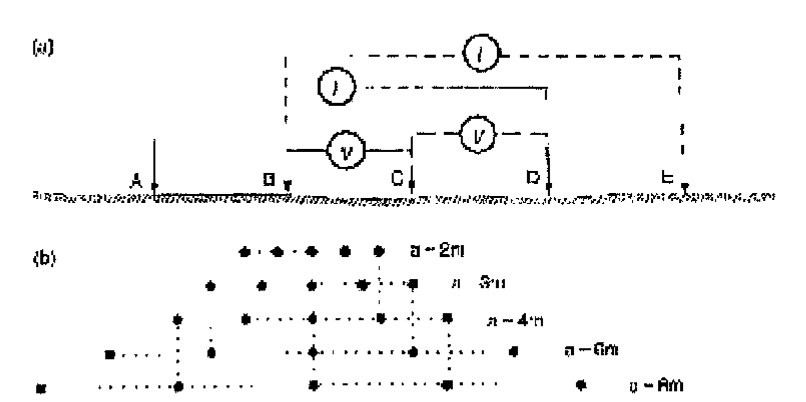
ولتنفيذ ذلك على الوجه الأكمل فإنه يجب أخذ قراءات مشتركة في عدة نقط. ومن الناحية النموذجية فإن هذه النقط لا تقل عن ثلاث نقط على الأقل تؤخذ عند كل تغير. ولكن عملياً (للأسف) تؤخذ نقطتين مشتركين أو نقطة واحدة فقط في العادة.

(٦,٣,٣) الجس الرأسي العميق باستخدام ترتيب وينر التعويضية

Offest Wenner Depth Sounding

من الصعوبات والتعقيدات في عملية تفسير المعلومات المستمدة من ترتيب شلمبرجير تقطيع منحنى الجس الرأسي إلى "قطع" (segments)، وكذلك استخدام ترتيب يقترب فقط من الظروف المفترضة في هذا التفسير. أما في "ترتيب وينر" (Wenner) من جهة أخرى، فإن ظروف وطبيعة التربة القريبة من سطح الأرض تختلف عند كل الأقطاب الأربعة لكل قراءة مما يعرض القراءات لمخاطر ارتفاع مستوى التشويش.

ويمكن الحصول على "منحنى جس رأسي" أكثر نعومة باستخدام "ترتيب تعويضي" (offset array) مكون من خمسة أقطاب مرتبة على مسافات متساوية، يستخدم أربعة منها في أي قراءة (الشكل رقم ٦,٨ a). تؤخذ قراءتين عند كل "توسعة" ويؤخذ متوسطهما لرسم منحنى يتميز باختفاء التأثيرات المحلية. وتوفر الاختلافات بين القراءتين قياساً لمغزى هذه التأثيرات المحتجبة (المختفية في هذا المنحنى).



الشكل رقم (٦,٨). طريقة وضع الإلكترونات في الترتيب الاستعواضية "وينر" (a) يمكن الحصول على قراءات فرق الجهد بين النقط (B)، (C) عندما يمر التيار بين (A) و(D)، وبين (C)، (D) عندما يمر التيار بين (B) و(E). (b) يتيح نظام التوسعة إعادة استخدام مواقع الأقطاب والعمليات المؤثرة باستخدام سلك متعدد الأطراف.

يؤدي استخدام خمسة أقطاب إلى تعقيد الأعمال المساحية الحقلية، ولكن إذا اعتمدت "التوسعة" على مضاعفة المسافات السابق ذكرها (الشكل رقم ٦,٨ b)، فإن هناك احتمالاً لسرعة وجودة العلميات الحقلية وذلك باستخدام أسلاك "متعددة اللب" (multicore cables) صممت لهذا الغرض.

(٦,٣,٤) دفتر الحقل في الجس الكهربي الرأسي Depth – Sounding Notebooks

يجب تعريف كل عملية "جس رأسي" بمكانها وموقعها واتجاهها ونوع الترتيب المستخدم وتسجيل ذلك كله في دفتر الحقل. ويجب وصف الظروف البيئية العامة المحيطة بالمنطقة وكذلك أي خصوصيات أخرى مثل: وجوب ذكر أسباب اختيار اتجاه معين للترتيب. وعموماً، عند استخدام ترتيب شلمبرجير بصفة خاصة، فإن الشخص المسئول عن التشغيل يستطيع أن يرى جميع مواقع الأقطاب الداخلية على جانبي الخط دفعة واحدة.

أما عن المعلومات عن مواقع الأقطاب الخارجية وما حولها في التوسعات الكبيرة فإنه يجب على المسئول عن التشغيل إما الاعتماد على تقارير قديمة (سابقة) عن المنطقة أو تجميع المعلومات بالفحص الشخصي على طول خط "التوسعة".

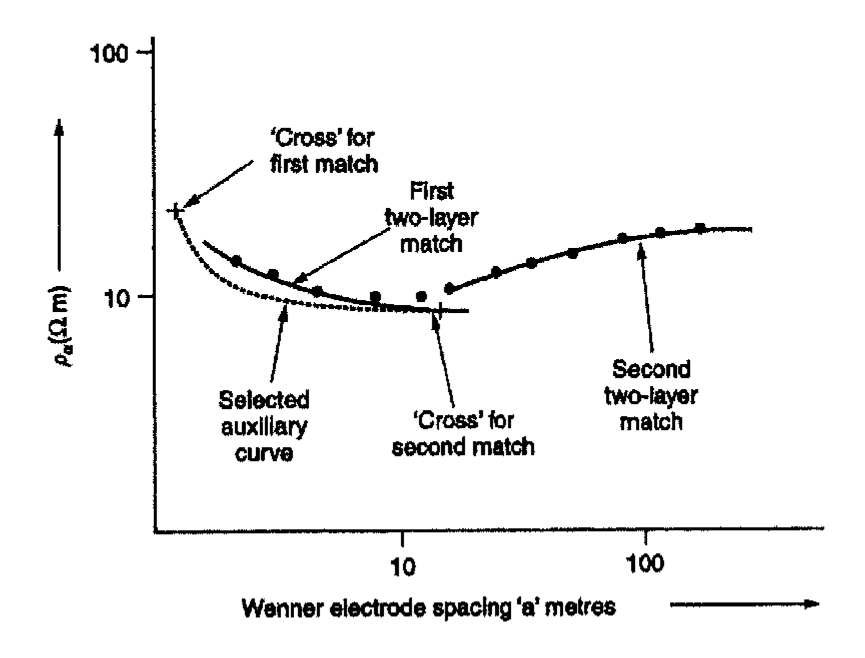
يجب تسجيل حدوث أي تغيرات ملموسة في شدة التيار أو في مستويات فرق الجهد، كما يجب تسجيل وضعية التيار الكهربي ولحظات انقطاعه عند أخذ كل قراءة.

(٦,٣,٥) التمثيل البياني لبيانات الجس الرأسي Presentation of Sounding Data

هناك دائماً وقت لحساب قيم المقاومة الظاهرية وتوقيع هذه النتائج على منحنى، وأنسب وقت لذلك هو فترة تحريك الأقطاب البعيدة. ويجب أن يكون توقيع النتائج في الحقل عمل روتيني وواجب، حيث أن تأخيراً بسيطا، تحت أي ظروف، أفضل من العودة بدون تفسير للنتائج أثناء العمل الحقلي.

وكل ما نحتاجه لتنفيذ هذا العمل هو آلة حاسبة صغيرة ومجموعة ورق لوجريثمي – لوجاريثمي. وهناك رأى يقول أن استخدام الكمبيوتر في هذا الشأن يسبب مشاكل أكثر من فوائده، وذلك يرجع لغلو ثمنه ورقته وكثرة أعطاله وتفريغ شحنه بطاريته بسرعة قبل إتمام العمل بالإضافة إلى أن الكثير منه لا يتحمل الماء والرطوبة.

يمكن تنفيذ تفسير بسيط مستخدمين منحنيات نموذج الطبقتين (two – layer type) الذي يمكن طبعه على ورق أو بلاستيك شفاف واستعماله. وحيث أنه لا يوجد تطابق كامل مع هذا النموذج فإن إجراء تفسير مبدئي يعتمد على إجراء التطابق التدريجي قطعة بعد قطعة على المنحنى سيكون هو الحل الأفضل المتاح في الحقل. أما التصرف النموذجي فهو استخدام منحنيات مساعدة إضافية (auxiliary curves) لتحديد المواقع المسموح بها التي يمكن أن تتطابق معها القطع الأخيرة للمنحنى المأخوذ في الحقل مع منحنى "نموذج الطبقتين" الأصلي (الشكل رقم ٦,٩). وهناك مراجع لمنحنيات نماذج أخرى متاحة أو تملئ أي مكتبة مثل "نماذج الطبقات الثلاثة" أو "نماذج الطبقات الأربعة".



الشكل رقم (٦,٩). شكل بياني يوضح الخطوات التتابعية لتوفيق المنحنيات الأساسية والمساعدة. ويستقرأ المنحنى الناتج من طبقة ذات مقاومة منخفضة بين طبقتين ذات مقاومة أعلى، عن طريق تطبيقين لمنحنى الطبقتين. أثناء إجراء عملية التوفيق بين الجزء الأعمق من المنحنى ويجب أن يقع تقاطع خطوط $(a/h = 1)$ و$(r_n/r_1 = 1)$ على خط يمكن تحديده باستخدام المنحنى المساعد.

محاولة التطابق التدريجي (خطوة بخطوة) كانت هي الطريقة الأساسية للتفسير في الحقل حتى حوالي عام ١٩٨٠م. أما الآن فإن هناك نمذجة (modeling) مبنية على برامج كمبيوتر يمكن تطبيقها حتى في "استراحة الحقل"، لتعطي نتائج أكثر مصداقية.

وعلى الرغم من ذلك فإن تطبيق نظام التطابق خطوة بخطوة مازال مستعملاً في الغالب لتحديد نوع النموذج الأول الذي يمكن تطبيقه في برامج الكمبيوتر.

(٦,٣,٦) القطاعات الكاذبة وقطاعات العمق

Pseudo – Sections and Depth Sections

أتاحت زيادة قدرة أجهزة الكمبيوتر الصغيرة الآن الفرصة لفصل تأثيرات التغيرات الجانبية للمقاومة عن تلك التغيرات التي تحدث في العمق. ولكي يتم تنفيذ هذا الفصل فإنه يجب تجميع المعلومات على طول القطاع المقاس عند عدد من المسافات البينية المختلفة التي تمثل مضاعفات قيم المسافات الأساسية. ويمكن عرض النتائج على هيئة "قطاعات كنتورية كاذبة" (contoured pseudo – sections).

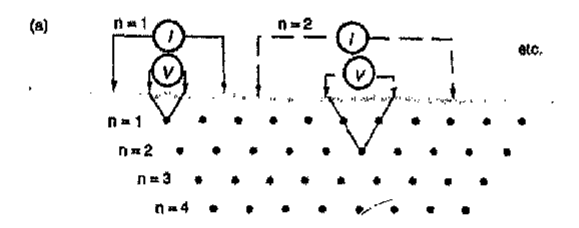
ويمكن لهذه القطاعات أن تعطي انطباعاً مبدئياً ملموساً عن الطريقة التي تتغير بها المقاومة الكهربية مع العمق (الشكل رقم ٦.١٠ a، b). ويمكن أيضاً تعديل المعلومات لتعطي قطاعات معدلة مع قياس رأسي للعمق فضلاً عن فصل الأقطاب. وهذا يعطي صورة محسنة جداً للتغيرات الحقيقة في المقاومة (الشكل رقم ٦.١٠ c).

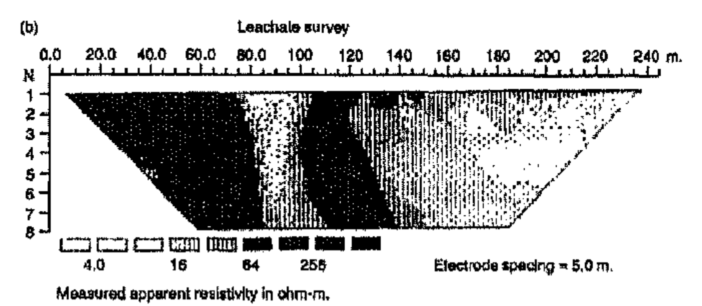
وكنتيجة للاستعمال واسع الانتشار لهذه التقنيات في الآونة الأخيرة، فقد أصبح هناك إمكانية كبيرة جداً وواسعة الانتشار لتمييز عدم ملاءمة الجس الرأسي البسيط في العمق. ولم يذهب الوقت أو المجهود المبذول في الحصول على معلومات كاملة هدراً حيث تظهر النتائج الجيدة لتعوض هذا الوقت والمجهود.

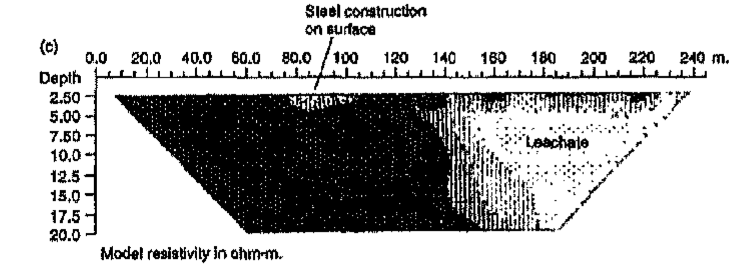
(٦,٤) الازدواج الحثي

Capacitative Coupling

قد أدخلت حديثاً عدد من الأجهزة تسمح بما لديها من موصلات وما ينشأ عنها من مجال كهربي بسريان التيار الكهربي إلى الأرض دون ملامستها لسطح الأرض. ويمكن قياس المقاومة الكهربية بطريقة مستمرة عن طريق "الهوائيات" (aerials) المركبة أو المتصلة بهذه الأجهزة الحديثة. ويساعد في القياس المستمر أنه يمكن جر أو سحب هذه الهوائيات على الأرض إما يدوياً أو ميكانيكياً.







الشكل رقم (٦,١٠). مجموعة "قطاعات كنتورية كاذبة" لترتيب وينر. (a) نظام التوقيع. (b) قطاع كاذب (خام) (c) قطاع كاذب بعد معالجته. وقد تكونت المساحة البيضاء للمقاومة المنخفضة عند حوالي ٩٠ متراً لتدل على وجود جسم معدني على السطح.

(٦,٤,١) مبادئ الاتصال الحثي Capacitative Principles

إذا أمكن إزالة أقطاب التيار الكهربي المستخدمة في المسح الكهربي العادي من على الأرض ووضعها في "لبادة معزولة" (insulating pad) تم توصيلها بمصدر كهربي ،

فإن التيار يمكن أن يستمر فقط في السريان حتى يتساوى الجهد الناشئ من الشحنات المتراكمة على الأقطاب مع الجهد الناشئ من تيار المصدر الكهربي ويضاده في الاتجاه. وتسمى قابلية النظام (الجهاز) لتخزين شحنة كهربية بهذه الطريقة بقدرته الكهربية (electrical capacity) وتقاس هذه القدرة بالفاراد (Farads).

تدل الحقيقة القائلة بإمكانية شحن الأقطاب الكهربية حتى وهي معزولة عن الأرض، على وجود مجال كهربي بين الأقطاب يمكن أن يؤدي إلى حركة الجسيمات المشحونة في الأرض. ومرة ثانية، يمكن لهذا السريان في التيار أن يستمر إلى أن يتأسس فرق جهد مساو ومضاد في الاتجاه.

ومع هذا، فإذا انعكست القطبية فتسرى مزيد من الشحنات وتستمر في السريان حتى ينشأ توازن جديد. وعندئذ سيتسبب فرق الجهد المتبادل (alternating voltage) ذو التردد العالي جداً في سريان تيار كهربي متبادل في الأرض على الرغم من وجود عوازل. وهذا ما يسمى "بالازدواج الحثي" (capacitative coupling).

(٦,٤,٢) التعامل مع الأجهزة Instrumentation

يمثل جهاز "الأوم مابر الهندسي" (Geometrics Ohm Mapper) (الشكل رقم ٥,١ d) تلك الأجهزة النموذجية التي تستغل الآن خصائص "الازدواج الحثي" المتميزة. يصل تيار متبادل ذو تردد عالي قدره (16.6 KHz) إلى "هوائي ديبول" (dipole aerial) الذي يصنع في شكله القياسي من سلك يصل طوله من متران إلى خمسة أمتار. وتستقبل الإشارة على هوائي آخر مشابه يتم سحبه خلف الهوائي الأول ومنفصل عنه بوصلة معزولة كهربياً، ويصل طوله إلى عدة أمتار في العادة.

وتوضع الكترونيات المرسل والمستقبل والمولد الكهربي في "خزينة مغلقة" (nacelles) مثبته في موضع وسط بين الهوائين الخاصين بالجهاز . ويتم تصميم الجهاز بالكامل بحيث يمكن جره أو سحبه على الأرض. وتسجل النتائج على فترات زمنية

ثابتة على "جهاز مسجل للبيانات" (data logger)، يثبت في حزام الشخص المسئول عن تشغيل الجهاز وذلك أثناء جر الجهاز على الأرض.

ويمكن عن طريق شاشة مسجل البيانات متابعة عرض ورسم قطاع المقاومة أثناء العمل خطوة بخطوة، وكذلك يمكن عرض العديد من القطاعات الموازية في نفس الوقت. وفي هذا الصدد يلزم الأخذ بجميع التحذيرات التي تم مناقشتها في الفقرة (١,٣,٣)، وذلك للتأكد من مصداقية النتائج وفائدتها.

يستخدم "جهاز الأوم مابر" (Ohm Mappr) "سعة الإشارة" (signal amplitude)، ولكن بصفة عامة هناك فرق في الطور (phase) بين التيار المار في هوائي "المستقبل" وبين ذلك التيار المار في هوائي "المرسل"، ولكن لهذا الاختلاف أن يعطي معلومات إضافية مفيدة. وجدير بالذكر، هناك أجهزة تحت التطوير تستخدم فيها تلك الخاصية تحت إشراف هيئة المساحة الجيولوجية البريطانية.

(٦,٤,٣) عمق الفحص Depth of Investigation

يمكن تحديد عمق الفحص بصفة عامة في الأعمال المساحية (DC) عن طريق المسافة الفاصلة بين الأقطاب. أما في أنظمة (الازدواج الحثي) فيتم تعيين هذا العمق عن طريق المسافة الفاصلة بين الهوائيين، وكذلك عن طريق طولهما. وكقاعدة عامة مبنية على التجربة يصل عمق الفحص إلى مسافة تكافئ المسافة بين نقطتي مركز كل من الهوائيين.

هناك عوامل إضافية أخرى يمكن إضافتها عند استخدام مجالات متبادلة ذات ترددات عالية. تستمد التيارات الكهربية في الأرض طاقتها من مجال متنوع وكذلك فهي تختزل قوته. وكما سبق أن ذكرنا في العنوان رقم (٦,١,١) أن الاضمحلال (Attenuation) يتبع قانون الأس الدليلي الذي يحكمه "ثابت الاضمحلال" (α) الذي ذكر في الفقرة (٥,٣,١).

سيتم تحديد عمق الاختبار (الفحص) أو على الأقل سيتأثر هذا العمق عن طريق عمق الطبقة السطحية الرقيقة (عمق القشرة skin depth) ما لم يكون هذا العمق أكبر بشكل واضح من المسافة بين "المستقبل" و"المرسل".

ويقترح الشكل رقم (٥,٥) عناصر الإعاقة الناجمة عن عمق القشرة، وذلك في حالة استخدام الترددات والمسافات البينية الخاصة التي تميز "جهاز الأوم مابر" (ohm mapper).

(٦,٤,٤) مميزات وعيوب نظام "الازدواج الحثي"

Advantage and Disadvantages of Capacitive Coupling

يتيح نظام "الازدواج الحثي" الحصول على معلومات المقاومة الكهربية بطريقة سريعة جداً حتى في المناطق التي يصعب فيها أو يستحيل فيها تثبيت الأقطاب في الأرض. ويمكن إعادة تنفيذ القطاعات باستخدام مسافات مختلفة بين الهوائيين، وتتيح "البرامج العكسية (inversion program) التي يمكن الحصول عليها بسعر اقتصادي إمكانية رسم مقاطع من بيانات التنوع في المسافات البينية بين الهوائين (multispaced data). ومع ذلك، فهناك مشاكل عملية ونظرية لهذا النظام مثله مثل جميع الطرق الجيوفيزيائية.

سيكون هناك مصداقية لنتائج نظام "الازدواج الحثي" فقط عندما يظل الازدواج بين سطح الأرض والهوائيات ثابت تقريباً، وهذا يحد من التغيرات المقبولة في الفجوة المعزولة بين سطح الأرض والهوائي. تسبب التغيرات في الازدواج الناشئ من عدم انتظام سطح الأرض شكلاً من أشكال التشويش.

ويمكن عن طريق المحافظة على توازن الهوائيات أن يقل التشويش، ولكن إذا لم يحدث هذا التوازن فإنه يعتبر عيبا من عيوب الشخص المسئول عن تشغيل الجهاز. ويحتاج الأمر جهودا مضنية لجر نظام الأجهزة على أي شيء في أقل المناطق وعورة وخاصة عند صعود الهضاب.

ومن الجائز أن يحتاج الأمر إلى جهد أكثر من المراحل الأخيرة من الأعمال المساحية باستخدام جهاز "الأوم مابر" والذي يستخدم فيه هوائين مستقبلين وذلك للحصول على بيانات على مسافات مختلفة.

ويتم الحصول على القراءات أساساً بشكل مستمر، والفترات التي يتم التسجيل فيها يمكن أن تكون صغيرة جداً. ومع ذلك فلا يوجد دليل على إمكانية تحديد الأهداف الصغيرة جداً، وهذا يرجع إلى أن درجة الوضوح التي يتم تحديدها بطول الهوائي والمسافة الفاصلة بين الهوائين.

الفصل السابع

طرق الجهد الذاتي والاستقطاب الحثي
SP and IP

تولد حركة الأيونات الموجبة في الأرض تياراً كهربياً مثل حركة الإلكترونات في الموصلات وهذا يسبب شذوذاً في الجهد الذاتي (SP) للأرض والذي يمكن أن يقدر بمئات المللي فولتات إذا ما قيس بين مكانين مختلفين. وهناك تطبيقات كثيرة لطريقة (SP) في استكشاف الخامات المعدنية وخاصة خامات الكبرتيدات وغيرها وكذلك رصد حركة المياه الجوفية تحت سطح الأرض.

أما طريقة الاستقطاب المستحث فهي تعتمد على بث تيار كهربي اصطناعي (Artificial) في الأرض مما يؤدي إلى استقطاب كهربي لبعض أجزاء من كتل الصخور. وهذه العملية تشبه عملية شحن جهاز "مولد قدره" (Capacitor) أو شحن بطارية سيارة، حيث يترتب على ذلك نشأت "تأثيرات سعوية - قدريه" (Capacitative effects) و"تأثيرات كهروكيميائية" (electrochemical effects). وإذا توقف التيار فجأة، فإنه يتم تفريغ هذه الشحنات من الخلايا المستقطبة (polarization cells) على فترات زمنية تصل إلى عدة ثوان مولدة تيار كهربي، وجهد ذاتي، ومجال مغناطيسي يمكن كشفه وقياسه عند سطح الأرض.

ومن المعروف أن خامات معادن الكبرتيدات (المبعثرة) (disseminated Sulphide minerals) تولد تأثيرات استقطابية واسعة، وعلى ذلك، فإن تقنيات "الاستقطاب الحثي" (IP) تستخدم على نطاق واسع في استكشاف الفلزات المعدنية القاعدية . وتشبه الترتيبات في تلك التقنيات تلك المستخدمة في أعمال الاستكشاف التقليدية لتعين المقاومة الكهربية الأرضية.

ومن هذه الأعمال الشائعة الاستخدام "ترتيبات التدرج" (gradient arrays) و"ترتيبات الديبول – الديبول"(dipole – dipole arrays) (اللتان تستخدمان في الدراسات الاستطلاعية والتفصيلية على التوالي). ويرجع السبب في شيوع استخدام هاتين الطريقتين في أنه يمكن الفصل بين أسلاك فرق الجهد عن أسلاك التيار الكهربي مما يؤدي إلى الإقلال من الحث الكهرومغناطيسي (electromagnetic induction).

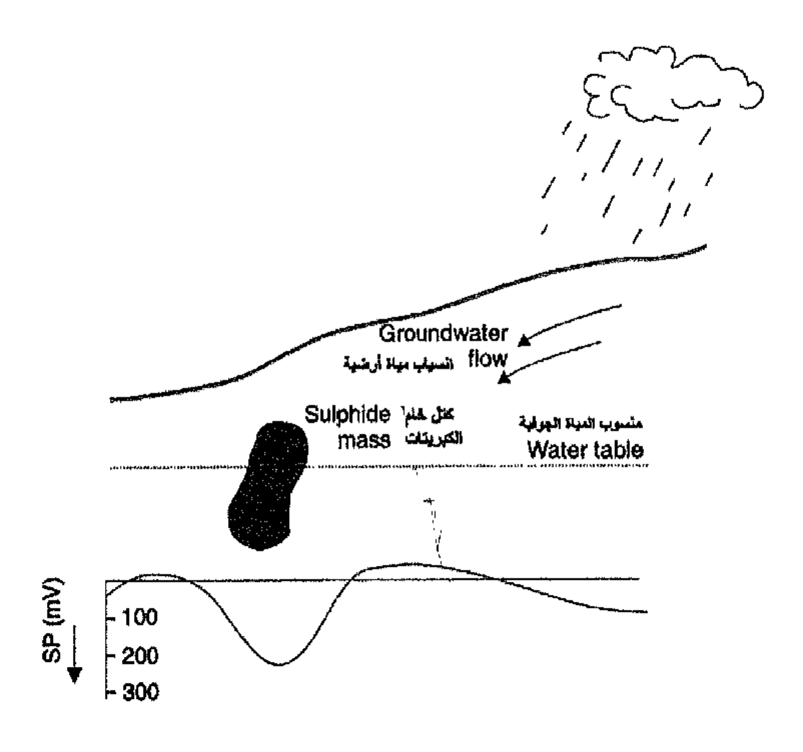
(٧,١) طريقة المسح باستخدام الجهد الذاتي
SP Surveys

كانت طرق البحث باستخدام قياس الجهد الذاتي شائعة الاستخدام في وقت ما للاستكشاف المعدني، وهذا يرجع إلى انخفاض تكلفتها وبساطتها. والآن قليلاً ما تستخدم هذه الطرق لأن بعض كتل الخامات القريبة من السطح والتي يمكن كشفها بطرق كهربية أخرى، لا تولد شذوذاً في الجهد الذاتي ولكنها لا تزال تستخدم على نطاق واسع خاصة في سبر الآبار حيث يتولد فرق الجهد الذاتي من التفاعل بين محاليل الحفر والطبقات المختلفة.

(٧,١,١) أصل تكون الجهود (الذاتية) الطبيعية Origins of Natural Potentials

قد لوحظ تولد جهود (ذاتية) طبيعية تصل إلى ١,٨ فولت (1.8 V) عندما يتجوى (يتحول بعملية التجوية) معدن الألونيت (alunite) إلى حامض كبريتيك، بينما يتكون شذوذاً سالباً من كتل خامات الكبرتيدات (Sulphide ore) والجرافيت يصل إلى ٥٠٠

ملي فولت (500mv) على الأقل. ويعزى تولد هذه الشذوذات في الجهد الذاتي إلى أن كتل خامات الكبريتيدات والجرافيت إذا ما وجدت بين نطاق الأكسدة القريب من سطح الأرض ونطاق الاختزال تحت منسوب المياه الأرضية (الشكل رقم ٧,١٠) فإنها تعمل كمسارات للتيار بين النطاقين وهو ما يسمى بتيار الأكسدة والاختزال (Oxidation-Reduction Current).



الشكل رقم (٧,١). رسم تخطيطي يوضح أحد مصادر الجهد الذاتي. كتلة خام الكبريتيدات القاطعة لمنسوب المياه الأرضية تعمل على تركيز تيارات انسياب القدرة على الأكسدة والاختزال، فينشأ شذوذ سالب عند السطح. ويكون انسياب المياه الأرضية المنحدر إلى أسفل بعد هطول الأمطار جهداً ذاتياً مؤقتاً، وفي هذه الحالة يتناسب عكسياً مع طوبجرافية المنطقة.

وقد يصاحب سريان المياه الأرضية جهداً ذاتياً ضئيلاً، ونادراً ما يزيد عن ١٠٠ ملي فولت بل عادة ما يقل عن ذلك كثيراً. وتعتمد القطبية (polarity) على التركيب الصخري وعلى حركة الأيونات وخصائصها الكيميائية في المياه المتواجدة في مسام الصخور (pore waters). ورغماً عن ذلك، فإن المنطقة التي تسري إليها المياه الجوفية (من مصدر ما) تكتسب كهربية موجبة بشكل أكبر من منطقة المصدر.

وقد يكون مفيدا هذا "السريان المتدفق للجهد الذاتي" (Streaming potentials) في الدراسات الهيدروجيولوجية ولكنه في نفس الوقت قد يؤدى إلى إعاقة القيام بإجراء المسح الاستكشافي للمعادن مؤقتاً، حتى أنه ينصح بعدم القيام بهذه الأعمال إلا بعد أسبوع على الأقل من هطول الأمطار الغزيرة (التي تؤدي إلى سريان المياه الأرضية).

وقد توضح حركة البخار أو المياه الحارة في مناطق الحرارة الأرضية ما يحدث من تولد فروق في الجهد الذاتي التي عادة ما تصاحب "الأنظمة الحرارية الأرضية" (geothermal systems) في تلك المناطق.

ونتيجة للاختلافات في توزيع درجات الحرارة يتولد مباشرة جهد ذاتي ضئيل (أقل من ١٠ ملي فولت)، وقد يكون هذا الجهد موجباً أو سالباً. ويميل شذوذ الجهد الذاتي المتولد من الحرارة الأرضية إلى أن يكون ممتدا لمسافات واسعة (ربما يمتد إلى عدة كيلو مترات) حيث يصل مقداره إلى أقل من ١٠٠ ملي فولت، ولذلك يلزم قياسه بدقة بالغة.

وقد يصل إلى الأرض تيارات ترددية حثية ضعيفة وذلك عن طريق التغيرات الحادثة في المجال المغناطيسي "للغلاف الأيوني" (ionosphere) وأيضاً عن طريق "العواصف الرعدية" (thunderstorms) (فقرة ٩,٤). وتقاس المركبات طويلة الأجل فقط للجهد الذاتي المصاحب، والتي تقدر بأكثر من ٥ ملي فولت على جهاز فولتميتر المستخدم في أعمال المسح باستخدام الجهد الذاتي (SP). وإذا حدث، وهذه حالات

استثنائية قليلة الحدوث، وزاد مقدار الجهد الذاتي إلى مستوى محسوس، فإنه يجب في هذه الحالة إعادة (تكرار) عمليات القياس في مختلف أوقات النهار حتى يمكن أخذ متوسطات النتائج التي تعبر عن الوضع الطبيعي عادة.

(٧,١,٢) المسح باستخدام الجهد الذاتي SP Surveys

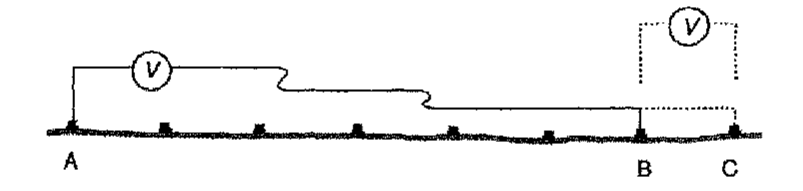
يجب أن تكون أجهزة قياس فرق الجهد المستخدمة في المسح باستخدام الجهد الذاتي عالية الحساسية لدرجة قياس المللي فولتات (milli volt sensitivity)، ولها مقاومة داخلية عالية جداً (impedance)، لدرجة يمكن بها إهمال التيارات الواردة من الأرض. ويرتبط جهاز الفولتميتر بأقطاب نحاسية مغموسة في محلول مشبع من كبريتات النحاس داخل أصيص خزفي مسامي (copper/copper – sulphate "pot" electrodes) كما هو موصوف في الفقرة (٥,٢,٢) وذلك الاتصال (بين الجهاز والأقطاب) عن طريق سلك نحاس معزول.

ويمكن إجراء الأعمال المساحية باستخدام الجهد الذاتي (SP surveys) عن طريق قطبين منفصلين بمسافة قصيرة ثابتة والتي عادة ما تكون ما بين ٥ أو ١٠ أمتار وذلك لقياس متوسط مجال التدرج (field gradients) وتصبح هذه الطريقة مفيدة عندما يكون طول السلك محدود. ولكن يؤدى وجوب تحرك كل من جهاز قياس فرق الجهد وكلا القطبين معاً مع المحافظة على ثبوت المسافة بينهما عند أخذ كل قراءة إلى بطء الإنجاز وتراكم الأخطاء المحتملة.

وغالباً ما يقاس الجهد الذاتي نسبة إلى محطة ثابتة، حيث يوضع في هذه المحطة جهاز الفولتميتر وقطب واحد من الأقطاب بينما يتحرك القطب الأخر، ويجب تأسيس محطات ثانوية (مساعدة) عندما يقترب السلك من نهايته أو عندما يتعذر الاتصال نظراً لبعد المسافة. ويمكن الربط بين المحطة الأساسية الثابتة والمحطة الثانوية من حيث الجهد الذاتي المقاس عندهما بشرط المعرفة الدقيقة لفرق الجهد بين المحطتين.

يوضح الشكل رقم(٧,٢) كيفية تأسيس المحطة الثانوية (المساعدة). وقد يصل نهاية السلك تقريباً عند النقطة الحقلية (B)، ولكن يظل من المحتمل الحصول على قراءة عند النقطة التالية (C) وذلك باستخدام المحطة الأصلية (A) وكل من النقطتين (B)، (C)، ويترك القطب الحقلي (field electrode) عند النقطة (C)، ويتحرك قطب المحطة (base electrode) إلى النقطة (B).

وهكذا يتم تقدير فرق الجهد بين النقطتين (A)، (B) حيث يتم ذلك لكليهما بالقياس المباشر أو عن طريق طرح فرق الجهد بين (B) و(C) من فرق الجهد المقاس مباشرة بين (A) و(C). ويمكن إضافة متوسط الاختلاف إلى القيم التي تم الحصول عليها من المحطة عند النقطة (B) وذلك للحصول على القيم نسبة إلى (A).



الشكل رقم (٧,٢). رسم تخطيطي يوضح المحطة المتحركة في الأعمال المساحية باستخدام الجهد الذاتي. وتقاس القيمة عند المحطة الجديدة (B) نسبة إلى المحطة الأساسية (A) مباشرة وأيضاً بطريقة غير مباشرة عن طريق قياسات فرق الجهد عند الموقع الحقلي (C) نسبة إلى المحطتين (A)، (B). ويصبح تقديرات الاختلاف في فرق الجهد بين (A)، (B) عبارة عن متوسط لهما.

(٧,١,٣) الأخطاء والتحذيرات Errors and Precaution

إذا لم تتفق قيمتا الاختلاف المقدرتين بين المحطة الثابتة (base) والمحطة الثانوية (sub- base) بفارق يصل من ١ إلى ٢ ملي فولت فأنه يجب إيقاف العمل حتى يتم معرفة

سبب ذلك. وعادة ما يكون حدوث تسرب لمحلول كبريتات النحاس أو تغير تركيزه إلى تحت مستوى التشبع هو السبب الرئيسي. كما يجب مراجعة الأقطاب كل ساعتين أو ثلاثة ساعات بوضعهم على الأرض مع حفظ المسافة بينهما بفارق بضعة بوصات، بحيث لا يزيد فرق الجهد بينهما وهما في هذا الوضع عن ١ أو ٢ ملي فولت.

ويمكن الإقلال من الأخطاء المتراكمة في الأعمال المساحية الواسعة (الممتدة) عن طريق العمل في حلقات (loops) متلاصقة ومتصلة داخلياً بحيث يصبح فرق الجهد الكلي حول كل حلقة مساوياً للصفر (فقرة ١,٤,٣).

(٧,٢) أسس الاستقطاب
Polarization Fundamentals

ربما تكون الأعمال المساحية باستخدام "الاستقطاب الحثي" (IP) من أكثر الطرق الجيوفيزيائية إفادة في مجال استكشاف المعادن، حيث إنها الطريقة الوحيدة التي يمكن أن تكتشف بها التمعدنات المبعثرة منخفضة الجودة.

هناك آليتان رئيستان لاستقطاب الصخور وهناك ثلاث طرق يمكن عن طريقها قياس تأثير هذا الاستقطاب. ونظرياً فإن النتائج التي يمكن الحصول عليها من تطبيق الطرق المختلفة متكافئة ولكن هناك عملياً اختلاف في هذه النتائج.

(٧,٢,١) الاستقطاب الغشائي Membrane Polarization

تشحن أسطح حبيبات معادن الطين والمعادن الصفائحية الأخرى أو "المعادن الليفية" (Fibrous minerals) بشحنات سالبة وتسبب "استقطاب غشائي" (membrane polarization) في الصخور ذات المسامية الدقيقة. تتجمع الأيونات الموجبة المتواجدة في ماء التكوين (Formation waters) بهذه الصخور، وذلك قريباً من الأسطح الداخلية للمسام الصخرية (pore walls) لتكون طبقة كهربية مزدوجة (electrical double layer). وعند وضع هذه الصخور في مجال كهربي فإن سحابة الأيونات الموجبة تنحرف

وتتحرك الأيونات السالبة داخل هذه السحابة (cloud)، ويتم اصطيادها (Trapped) مولدة "تدرج تركيزى" (concentration gradient).

يؤدي بدوره إلى إعاقة مرور التيار الكهربي. وعند إبعاد هذا المجال الكهربي المستخدم، يمر تيار كهربي معاكس (reverse current) يعمل على إعادة التوازن الأصلي.

(٧,٢,٢) استقطاب الأقطاب الكهربية Electrode Polarization

لقد تم مناقشة "جهد التماس الساكن" (static contact potentials) بين الموصلات المعدنية – الفلزية وسوائل التحليل بالكهرباء (electrolytes) في الفقرة (٥,٢,٢). وفي هذه العملية يتولد فرق "جهد زائد" (over- voltage) إضافي عندما يحدث مرور للتيار الكهربي، وعندئذ يحدث استقطاب للأقطاب الفلزية. ولا يحدث هذا الاستقطاب للأقطاب الاصطناعية فقط، بل يحدث أيضاً عندما تتلامس حبيبات المعادن التي لها القدرة على التوصيل الكهربي مع المياه الأرضية.

وتعتمد درجة الاستقطاب أكثر على المساحة السطحية للحبيبات الموصلة كهربياً، منها على حجم هذه الحبيبات. وهكذا فإن طرق الاستقطاب تلائم بشكل جيد استكشاف "الخامات السماقيه" (porphyry ores) "المبعثرة" (disseminated). وعادة ما يتولد أيضاً شذوذ قوي من تمعدنات لخامات "الكبريتيدات الكتلية" (massive sulphides) وهذا يرجع إلى تواجد "الهالات المبعثرة" (disseminated haloes) المحيطة بحبيات المعادن.

على الرغم من أن "استقطاب الأقطاب" أقوى آلية من الطرق الأخرى، إذا ما وحدنا مساحة الأسطح النشطة، إلا أن المواد الطينية التي تسبب "استقطاب غشائي" عند شحنها، هي الأكثر شيوعاً في الطبيعة من الكبرتيدات المعدنية التي يحدث عند تلامسها مع المياه الأرضية "استقطاباً للأقطاب". ولذلك فإن معظم تأثيرات الجهد الذاتي (IP) في الطبيعة يرجع إلى الاستقطاب الغشائي المصاحب للمواد الطينية الرطبة.

(٧,٢,٣) الموجه التربيعية في الأرض القابلة للشحن

The Square Wave in Chargeable Ground

عندما ينتهي فجأة سريان تيار كهربي مستمر في الأرض يهبط بشكل حاد فرق الجهد (الفولتيه ؛ Vo) الأولى بين أي قطبان أرضيان إلى قيمة "فولتية استقطابية" (أو فرق جهد استقطابي) (polarization voltage or Vp) صغيرة، وعندئذ تنحرف هذه الفولتية بطريقة "لا عرضية" (asymptotically) إلى الصفر. وبطريقة مماثلة، عندما يسرى التيار الكهربي في الأرض، يرتفع سريعاً فرق الجهد (الفولتية) المقاس (أولاً) ثم عندئذ تقترب قيمته لا عرضياً من (V_o) كما في الشكل رقم (٧,٣). وعلى الرغم من أن القيمة (V_o) لا يمكن الوصول إليها من الناحية النظرية إلا أنه من الناحية العملية لا يمكن اكتشاف الفرق بعد مرور حوالي ثانية.

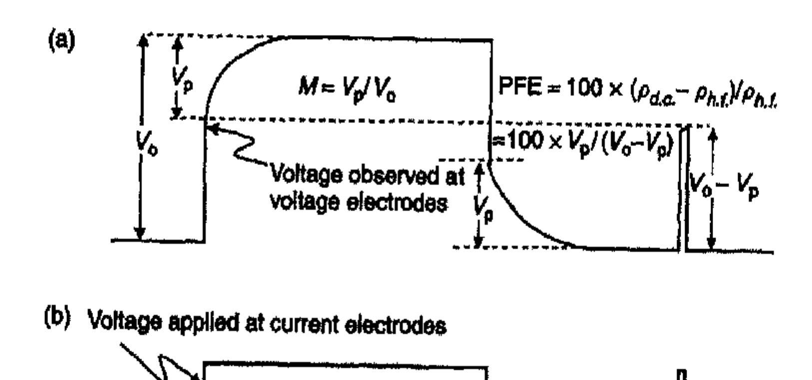
تعرف "القابلية للشحن" (chargeability) من الناحية الشكلية بأنها "استقطاب فولتي" (polarization voltage) ينمو قاطعاً وحدة المكعب (unit cube) ويدعم (يقوي) بوحدة تيار كهربي (unit current) وعندئذ يصبح مشابهاً لحد ما "للقابلية المغناطيسية" (magnetic susceptibility).

وتعرف "القابلية الظاهرية للشحن" (apparent chargeability) الخاصة بالكتلة الكلية للصخر طبقاً لمصطلحات "الموجه التربيعية" الموضحة في الشكل رقم (٧,٣) بأنها النسبة بين Vp إلى V_o. وهذا رقم صافي (pure)، ولكن لتجنب القيم الصغيرة جداً فإن هذا الرقم يضرب في ألف ويعبر عنه بالملي فولت لكل فولت.

ولا يمكن قياس النسبة Vp إلى V_o مباشرة حيث أن "العبور الكهرومغناطيسي" (electromagnetic transient) يحدث غالباً في العشر ($^1/_{10}$) الأول من ثانية وذلك بعد توقف التيار الأصلي عن المرور مباشرة.

والتعريف العملي "لزمن مجال القابلية للشحن" (time – domain chargeability) الذي يعبر عنه "بالفولتية المضمحلة" (decay voltage) عند زمن إعاقة معين تقريباً، هو

التعريف الذي يرتبط بالكاد بالتعريف النظري. كانت الأجهزة في الأصل تستخدم زمن إعاقة ولازالت في العادة تقاس المساحة التي تسفل "منحنى الاضمحلال" (decay curve) مستخدمة دوائر متداخلة ، فضلاً عن استخدام الفولتية الفورية. وتتوقف النتائج عندئذ على طول فترة التكامل (integrate period) ، وكذلك على الإعاقة حيث يعبر عن هذه النتائج بالملي ثانية.



الشكل رقم (٧,٣). الاستجابة الأرضية لإشارة "الموجة التربيعية" وكذلك للنبضة المندفعة إلى أعلى. ونادراً ما تمثل النسبة بين V_0 إلى Vp إلى أكثر من نسبة مئوية ضئيلة. ويصبح دخول فرق الجهد الخاص بشكل الموجة مجرد مرجع فقط. وعملياً ستصبح سعته أكثر عدة مرات من فرق الجهد المقاس، وتعتمد القيمة الحقيقة على الترتيب المستخدمة.

(٧,٢,٤) تأثيرات التردد Frequency Effects

يوضح أيضاً الشكل رقم (٧.٣) أنه إذا كان ضرورياً إنهاء التيار بعد إدخاله مباشرة ، فإنه يمكن قياس الحد الأدنى من المقاومة الظاهرية الذي يساوي $(V_0 - Vp)/I$ مضروباً في العامل الهندسي للترتيب.

ويعرف تأثير تردد الاستقطاب الحثي (IP) بأنه الفرق بين التردد العالي، ومقاومة التيار (DC) مقسوماً على قيمة التردد العالي. ثم يضرب الناتج في مائة ليعطي رقماً صحيحاً يمكن تداوله بسهولة وتسمية النتيجة النهائية بالنسبة المئوية لتأثير التردد [percent frequency effect (PFE)] وأصل العلاقة النظرية بين (PFE) "والقابلية للشحن" (chargeability) والتي يرمز لها بالرمز (M) كما يلي:

$$M = [PFE] / (100 + [PFE])$$

وهذه العلاقة موضحة في الشكل رقم (٧،٣).

لا يمكن قياس القيمة النظرية للنسبة (PFE) بسبب العبور الكهرومغناطيسي (electromagnetic transient)، وتعتمد القيمة العملية لهذه النسبة على التردد المستخدم. وللتخلص من التشويش سواء الناشئ من تأثير الجهد الذاتي (SP) أو من التأثيرات الأخرى تؤخذ قياسات التيار (DC) المباشر وذلك على فترات منتظمة كل بضع ثواني، بينما الترددات العالية عادة ما تحفظ تحت مستوى (10 Hz) وذلك للإقلال من الحث الكهرومغناطيسي.

(٧,٢,٥) العوامل المعدنية Metal Factors

يمكن قسمة قيمة (PFE) على قيمة مقاومة التيار (DC) وتضرب نتيجة القسمة في ١٠٠٠ أو ٢٠٠٠ أو ٢٠٠٠ط (π) فينتج رقم (قياساً) مناسب يعرف باسم "العامل المعدني" (metal factor). ويمكن من خلال هذا العامل المعدني تحديد أحجام كتل الصخور التي يمكن استقطابها وجعلها موصلة والتي أيضاً يمكن عندئذ الافتراض باحتوائها على كمية كبيرة من الكبرتيدات (أو من الجرافيت).

وعلى الرغم من أن هذا قد يكون مفيداً عند البحث عن خامات الكبرتيدات الكتلية، إلا أن المقاومة المنخفضة قد لا تكون دليلاً على شيء، بل حقيقة قد تسبب في التضليل عند محاولة استكشاف رواسب الخامات المبعثرة. وكالعادة، فعندما تطبق العوامل التي كان يجب التعامل معها بطريقة منفصلة، بطريقة تجميعية مركبة فإن النتيجة المنتظرة هي الغموض والالتباس وعدم الوضوح.

(٧,٢,٦) الطور Phase

يمكن تأكيد مصطلحات "الموجه التربيعية" المذكورة في الشكل رقم (٧,٣) "بتحليل فورير" (Fourier analysis) إلى مركبات لمنحنى جيبي (Sinusoidal components) لكل منها سعة (amplitude) وتردد (frequency) مختلف. ويدل المنحنى الفولتي (voltage curve) غير المتماثل على تردد خاص مرتبط "بالطور" (phase) ينحرف بين التيار المستخدم والفولت المقاس. وفي الأعمال المساحية (IP) والتي تسمى "الاستقطاب الحثي الطيفي" (Spectral IP) يقاس هذا الانحراف بوحدة "الملي راديان" (milliradian).

(٧,٣) المسح باستخدام الاستقطاب الحثي ذي المجال الزمني
Time – Domain IP Surveys

يحتاج الأمر إلى فرق جهد أولي كبير لتولد استقطاب حثي (IP) يمكن قياس تأثيره. ويمكن أن تكون أقطاب التيار أعمدة معدنية مستوية كتلك التي تستخدم في عمليات المسح الكهربي العادي، ولكن إذا كان الأمر يتعلق باكتشاف الملي فولتات الضئيلة الخاصة "بالإشارة العابرة" (transient signal) فإنه يلزم استخدام "أقطاب غير مستقطبة" (non – polarizing electrode) كتلك التي تستخدم في طريقة الجهد الذاتي.

(٧,٣,١) أجهزة الإرسال ذات المجال الزمني Time – Domain Transmitters

تحتاج أجهزة الإرسال ذات المجال الزمني إلى مصدر كهربي قوي، وقد يكون مولد كهربي ضخم أو بطارية يمكن إعادة شحنها. وعادة ما يتم اختيار المستوى الفولتي بحدود تتراوح بين ١٠٠ ؛ ٥٠٠ فولت. وإذا كان مطلوباً قياس كل من المقاومة الظاهرية والاستقطاب الحثي فإنه يجب تسجيل مستوى التيار الذي يمكن التحكم فيه عن طريق استخدام "محدد للتيار" (current limiter).

ويتم تغير اتجاه التيار للإقلال من تأثيرات فرق الجهد الطبيعي، ويمكن أن تتراوح الدورة الزمنية بصفة عامة بين ٢– ١٦ ثانية. مع العلم بأن ثانية واحدة لكل من

التقوية والقراءة غير كافية للحصول على نتائج موثوق بها، بينما استخدام الدورات الزمنية الأطول من ٨ ثواني يؤدي إلى إطالة زمن إجراء الأعمال المساحية بغير سبب معقول.

(٧,٣,٢) أجهزة الاستقبال ذات المجال الزمني Time – Domain Receivers

تقيس "أجهزة الاستقبال ذات المجال الزمني" الفولتية (فرق الجهد) المبدئية وتقيس واحدة أو أكثر من "الفولتات المضمحلة" (decay voltages) وكذلك "التداخلات أو التكاملات" (integrations). وقد يكون هناك احتمال لتسجيل مقدار الجهد الذاتي، حتى أنه يمكن تجميع بيانات "القابلية للشحن" (chargeability)، والمقاومة (resistivity) و(SP) جميعاً معاً.

كانت أجهزة الاستقبال (نيومونت newmont) القديمة تقوم بدمج فترة زمنية تتراوح بين 0.45 – 1.1 ثانية بعد انقطاع التيار. وكان قديماً يتم إجراء توازن للجهد الذاتي بطريقة يدوية وعندئذ يتم تعادل فرق الجهد الأولي (primary voltage) عن طريق الاستمرار في ضبط جهاز توجيه التكبير حتى تتأرجح إبرة جهاز الجلفانومتر (galvanometer) بين حدود معينة.

وهذا يؤدي أوتوماتيكياً إلى تنسيب قيمة Vp إلى قيمة V_o لقيم (M) المسجلة بإبره أخرى. ويكتسب الخبير المسئول عن الجهاز الإحساس بشكل "منحنى الاضمحلال" من خلال مراقبة اهتزاز إبرة الجهاز، وغالباً ما كان له القدرة على تمييز "العبور الكهرومغناطيسي" حيث يستمر هذا في الفترة الزمنية التي يستغرقها "أخذ عينة فولتيه".

وفي الأجهزة الرقمية (digital) (الحديثة) تنعدم المعلومات التشخيصية المستنتجة من حركة الإبرة. ويجب ملاحظة دوائر كافية "للاختزال الإحصائي" (statistical reduction) لتأثيرات التشويش. وتتيح الأنظمة الرقمية تسجيل عناصر أكثر في "فترات تكامل" (integration periods) قصيرة جداً، تكافئ تقريباً الفترات الزمنية اللازمة لأخذ

القراءات الفورية. ويتم تعويض أو تعادل الجهد الذاتي الطبيعي الآن (بالعودة الخلفية والعودة الأمامية – backed off and backed out) أوتوماتيكياً بدلاً من الطريقة اليدوية. وتخزن البيانات في ذاكرة الجهاز مما يقلل من أخذ وتدوين الملاحظات.

يجب تعديل جهاز المستقبل بحيث يتناغم مع الدورة الزمنية للمرسل حتى يمكن النظر إلى الإرسال بدون استخدام "سلك مرجعي" (reference cable) الذي يمكن أن يتسبب في إحداث "تشويش حثي"(inductive noise).

وعادة تفضل الآن الدورة الزمنية ٤ ، ٨، ١٦. ويمكن أن تنشأ اختلافات كبيرة جداً في "القابلية الظاهرية للشحن" (apparent chargeability) من جراء تغير الدورة الزمنية حتى في حالة تشابه "زمن الإعاقة" (delay time)، و"القابلية للشحن" المسجلة بمختلف الأجهزة، فهي ذات علاقة مبهمة.

(٧,٣,٣) تحليل منحنى الاضمحلال Decay – Curve Analysis

مع القراءات المأخوذة عند عدة أزمنة إعاقة مختلفة يمكن إجراء محاولة تحليل لمنحنى الاضمحلال (Decay – curve analysis). تفترض الطريقة المقترحة باستخدام أجهزة استقبال "هونتك"(Huntec) أن كل منحنى اضمحلال يتكون من منحنيين دليلين (exponential curves) للاضمحلال حيث يتطابقا مع كل من "الاستقطاب القطبي" و"الاستقطاب الغشائي" الذين يمكن فصلهما حسابياً.

وهذا تبسيط أكثر من اللازم، فباستخدام عدد محدود من القراءات يصبح الفصل بين دالة هذين المنحنين الدليلين الذين أضيفا لبعضهما في الوقع، مستحيل تحت أي ظروف حتى في وجود كمية تشويش قليلة. وبالرغم من ذلك، فإن الأبحاث مستمرة للتحكم في شكل منحنى الاضمحلال. ويجب تسجيل قيم "القابلية للشحن" الكهربي في العديد من أزمنة الاضمحلال كلما كان ذلك ممكناً وخاصة في مناطق الشذوذ الهامة. ولكن في المناطق العادية (الغير شاذة) فإن قيمة واحدة تكفي بصفة عامة.

(٧,٤) المسح باستخدام التردد ذي المجال
Frequency – Domain Surveys

يمكن استخدام تيار وفرق جهد (voltage) منخفض جداً وذلك لقياس المقاومة، وبذلك تصبح أجهزة "إرسال التردد ذو المجال" أخف وزناً، وأسهل في الحمل والنقل من نظيرتها من أجهزة "إرسال ذات مجال زمني". ويجب أن يكون هناك عناية خاصة بوضعية للأسلاك وذلك للإقلال من الازدواج الكهرومغناطيسي.

حيث يزيد هذا الازدواج بزيادة المسافة البينية مع أو بين الأقطاب الثنائية، ويزيد أيضاً بزيادة التردد، وبزيادة درجة التوصيل الكهربي "لطبقة الردم السطحية" (overburden).

ولسوء الحظ فإن لفريق العمل الحقلي قدرة محدودة في التحكم في هذه العوامل النهائية في الكثير من المناطق. ويمكن أن يضطر فريق العمل إلى استخدام مسافات بينية واسعة بين الأقطاب وذلك عندما يكون الهدف المطلوب البحث عنه عميقاً.

(٧,٤,١) أجهزة إرسال التردد ذي المجال Frequency – Domain Transmitters

تستخدم "الموجات التربيعية" عادة في الأعمال المتعلقة "بالتردد" و"بالمجال الزمني" على السواء بالإضافة لاستخدام أجهزة الإرسال الحديثة (IP) في كل منها. تعتبر قياس المقاومة لترددين في عمليتين منفصلتين مضيعة للوقت، هذا بالإضافة لعدم إمكانية التخلص الدقيق من "التشويش العشوائي".

وعندئذ يمكن أن يتم تصميم أجهزة الإرسال بحيث تسمح بأخذ قراءات واقعية في نفس الوقت، وتؤخذ هذه القراءات لأشكال معقدة من الموجات المكونة من ترددين. ويمكن استخدام الموجات التربيعية البسيطة إذا كان لجهاز المستقبل القدرة على تحليل "فولتية" و"شكل الموجه" (voltage waveform) وذلك لاستخلاص تأثيرات التردد العالي.

(٧,٤,٢) أجهزة استقبال التردد/الطور Frequency/Phase Receivers

يحتاج تحليل أشكال الموجه وكذلك استخلاص تأثير التردد العالي من أجهزة الإرسال المفردة أو المزدوجة إلى أجهزة استقبال معقدة (sophisticated) ولكن هذا التعقيد لا يظهر عادة للشخص الذي يقوم بتشغيل للأجهزة عن طريق تسجيل (PFEs) من "الشاشة المظهرة للمعلومات" (Front panel display).

ولقياس اختلافات الطور (phase differences) أثناء الأعمال المساحية الخاصة بالاستقطاب الحثي IP ذو التردد – المتعدد (multi – frequency) (الطيفى – spectral). فإن توافر مرجع للزمن العادي لكل من جهاز المرسل وجهاز المستقبل يكون أساسياً.

تستخدم ساعات بلورية (crystal clocks) لهذا الغرض بدلاً من السلك المرجع (reference cable) الذي قد يسبب زيادة في الازدواج الحثي (inductive coupling) وأيضاً قد يتسبب في عدم راحة للقائمين على التشغيل. ويمكن ضبط هذه الساعات بحيث تتزامن في بداية يوم العمل، ويجب ألا تنحرف هذه الساعات بأكثر من جزء من المللي ثانية في الـ ٢٤ ساعة.

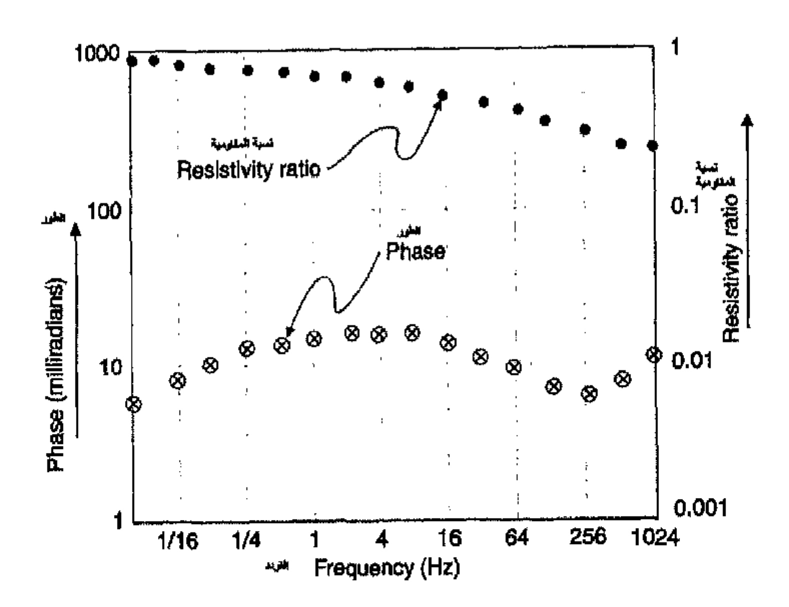
(٧,٤,٣) قياس الطور Phase Measurements

يوضح الشكل رقم (٧,٤) المنحنى المثالي لتوقيع قيم الاستقطاب الحثي الطيفي (spectral IP) في مقابل التردد (على المحور السيني). ويعتمد التردد الذي يتواجد عنده أعلى انحراف نوعي على حجم الحبيبات، حيث يكون ذلك أعلى في المواد الموصلة دقيقة الحبيبات.

فكلما كانت منقارية المنحنى مدببة كان حجم الحبيبات متجانساً. تعتمد معظم المحاولات للتمييز بين مختلف أنواع مصدر IP الآن على تحليل هذه "المنحنيات الطيفية" (spectral curves) حيث يمكن تحديد الحجم الحبيبي مع نوع المعدن.

ويرجع الشكل العام لزيادة انحراف الطور عند الترددات العالية إلى "الازدواج الكهرومغناطيسي". تستلزم حسابات حل الازدواج البسيط قراءات تؤخذ عند ثلاثة ترددات مختلفة وافتراض علاقة تربيعية (quadratic relationship) (بمعنى: $\Phi = A + Bf + Cf^2$) بين انحراف الطور (Phase – shift) والتردد.

وتسمح هذه القراءات الثلاثة بحل هذه المعادلة بالنسبة لـ (A) وهي التي تعبر عن قيمة الانحراف الطوري عند التردد صفر (zero – frequency). وسيكون جدير بتسجيل القيمة (A) فقط عند معظم نقاط المسح، ولكن في النقاط التي يحدث عندها شذوذ واضح لكامل "طيف الطور" (phase spectrum) فإن تخزين أكثر من ثلاث ترددات أساسية يمكن أن يكون مفيداً لعمليات مستقبلية.



الشكل رقم (٧,٤). رسم بياني يوضح التوقيع المثالي لقيم كل من صنف الجهد الحثي والسعة في مقابل التردد.

(٧,٤,٤) طرق مقارنة المجال الزمني والتردد ذو المجال

Comparison of Time – and Frequency – Domain Methods

العلاقة بين الاستقطاب وشدة التيار ليست خطية تماماً. وهذه العلاقة لا تحد فقط الامتداد الذي يمكن عن طريقة أن تتداخل قياسات الزمن والتردد والصنف، ولكنها أيضاً تؤثر على إمكانية المقارنة بين مختلف الأعمال المساحية لنفس النوع. ولا يزيد هذا التأثير بصفة عامة عن نسبة مئوية ضئيلة ولكنه يعطي سبباً آخر للطبيعة الوصفية الخالصة لمعظم استقراءات (IP).

تتعرض المميزات النسبية للمجال الزمني والترددي في طريقة (IP) إلى جدل، وخاصة من المصنعين للأجهزة المنافسة. أن المسح باستخدام "المجال الزمني" هو في الأساس متعدد التردد، حيث تعطي أشكال منحنيات الاضمحلال معلومات تكافئ تلك المعلومات التي يمكن الحصول عليها من الترددات المتعددة المختلفة في طريقة "التردد ذو المجال" أو في "طريقة الطور". وعلاوة على ذلك، فإنه من المسلم به بصفة عامة أن (PFEs) و"الانحراف الطوري" أكثر عرضة للتأثر بالتداخلات الكهرومغناطيسية من "المجال الزمني للقابلية للشحن" (time – domain chargeabilities).

ويحتاج الأمر إلى قراءات إضافية إذا كان مطلوب حساب "معاملات التصحيح" (correction factors) وهذا يتطلب وقتاً إضافياً ويتطلب أجهزة أكثر تعقيداً. علماً بأن الاختيار النهائي بين الطريقتين عادة ما تعتمد على التفضيل الشخصي ومدى توافر الأجهزة.

(٧,٥) بيانات طرق الاستقطابية المستحثة

IP Data

تختلف الطرق المستخدمة في إظهار البيانات الخاصة بالأعمال المساحية لطريقة "الاستقطاب الحثي" (IP) باختلاف أنواع الترتيبات. فتستخدم مثلاً القطاعات والخرائط

الكنتورية "لترتيبات التدرج" (gradient arrays)، بينما تعرض بيانات الأقطاب الثنائية على هيئة قطاعات كاذبة (Psedo Sections). وفي جميع أنواع الترتيبات يجب ألا تزيد كثيراً المسافة بين أقطاب فرق الجهد عن قطر (اتساع) أصغر هدف يتم البحث عنه في المنطقة.

(٧,٥,١) بيانات ترتيب التدرج Gradient Array Data

تبدو خطوط التيار في منطقة الدراسة التي تستخدم فيها ترتيبات التدرج (gradient arrays) أفقية تقريباً وتستقطب الأجسام القابلية للشحن أفقياً أيضاً. ويمكن استقراء القطاعات بطريقة مشابهه لتلك التي تستخدم في البيانات المغناطيسية بأعماق تقريبية يمكن تقديرها باستخدام التقنيات المذكورة في الفقرة (٣,٥,٢).

(٧,٥,٢) بيانات ثنائي القطب – ثنائي القطب Dipole – Dipole Data

يمكن استخدام مقاطع ثنائي القطب – ثنائي القطب عند قيمة (n) المفردة لأعداد القطاعات (profiles). ودعماً عن ذلك تظهر نتائج "الاتساعات المتعددة" دائماً على هيئة قطاعات كاذبة (Pseud – sections) أو أشباه قطاعات أو قطاعات غير حقيقية (الشكل رقم ٧,٥).

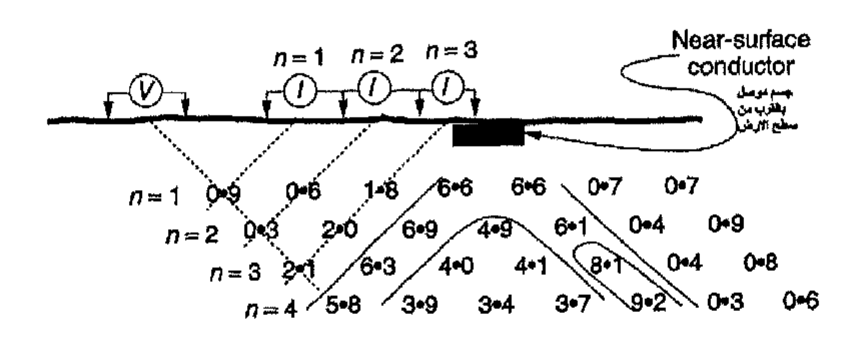
وتظهر العلاقة بين مواقع الارتفاعات ومواقع جسم المصدر في هذه القطاعات الكاذبة أقل بساطة في ترتيب ثنائي القطب عنها في ترتيب "وينر" (Wenner) (الفقرة ٦,٣,٦). وبصفة خاصة، ينشأ عادة شذوذ يسمي "ساق النبضة" (pant's leg) الشائع (الشكل رقم ٧,٥) وذلك عند تواجد جسم قريب من السطح وله امتداد قليل في العمق. وفي هذه الحالة ستسجل "قابلية عالية للشحن" (high chargeability) عند كل قياس ينشأ من ثنائي قطب التيار أو ثنائي قطب الجهد بالقرب من الجسم.

ويعتمد شكل الشذوذ اعتماداً كبيراً على مواضع الأقطاب، وليس من الضروري أن يكون اتجاهات الميل الظاهري هي نفسها اتجاهات ميل "الجسم المشحون"

(chargeable body). وحتى الاستقراء الوصفي يحتاج إلى خبرة كبيرة كما يحتاج إلى الإلمام بدراسات النمذجة.

وتوقع "القطاعات الكاذبة" منسوبة إلى خط أساسي أفقي عادة حتى في المناطق الوعرة (rugged terrain). وإرجاع هذه القطاعات إلى الوضع الطوبجرافي الطبيعي بالمنطقة يحتاج إلى عناية. ويتم هذا الإرجاع باستخدام خطوط مرسومة بطريقة تشبه ما هو ظاهر في الشكل رقم (٧,٥) ولكن بميل ٤٥ درجة على مستوى سطح الأرض.

وترجع هذه الخطورة إلى احتمال أن تأخذ هذه الطريقة دلالة على الارتباط والمضاهاة مع التوزيع التحت سطحي "للمقاومة" و"القابلية للشحن" بشكل أكثر ارتباطاً مما هو قائم بالفعل. ومع هذا فإن الانحدارات المختلفة والشديدة المؤثرة بالفعل في نتائج الديبول - ديبول ومن الأفضل إظهارها بدلاً من تجاهلها.



الشكل رقم (٧,٥). توقيع بيانات الديبول - ديبول لتكوين قطاعات كاذبة أو أشباه قطاعات أو قطاعات غير حقيقية. وتطابق المواقع الثلاثة المختلفة لتيار الديبول المسافات الأساسية الثلاث المتعددة المختلفة. ويتم توقيع القيم المقاسة (للـ IP أو المقاومة) عند نقاط تقاطع الخطوط المائلة بزاوية ٤٥ ° من تيارات الديبول. وغالباً ما تكون نقطة التوقيع مزدوجة كنقط عشرية لقيم (IP). والشذوذ الذي على هيئة قدم نابضة ما هو إلا تعبير مثالي ناتج من أجسام صغيرة ضحلة العمق.

(٧,٥,٣) قراءات الــ IP السالبة والتقنيع Negative IPs and Masking

يمكن أن يرجع وجود قراءات سالبة في طريقة IP إلى تواجد أسلاك تليفونات أو أسلاك كهرباء ضغط عال أو كما رأينا، إلى قطاعات أسهام الإشارة (signal contribution sections) كما في الشكل رقم (٦,٤)، ويمكن أن ترجع أيضاً هذه القراءات السالبة إلى عدم التجانس الجانبي للتربة.

وقد ينتج عند التطابق أيضاً قيم سالبة، يمكن أن يحجب أو يلغي هذا التطابق المصادر الأكثر عمقاً. ويحدث ذلك بكثرة عندما تكون الطبقات السطحية وطبقات الهدف (المراد رصده) أكثر توصيلاً للكهربية من الصخور البينية المحيطة. وفي هذه الحالة قد يكون الاختراق المنفذ قليلاً جداً وقد يحتاج أن يصل طول الترتيب الكلي إلى ١٠ أضعاف (أو أكثر) من مقدار عمق الاستكشاف المطلوب.

العلاقة التداخلية بين درجة التوصيل الكهربي والشحنة الكهربية علاقة معقدة جداً ولذلك يحتاج الشخص الذي يقوم بالاستقراء إلى بيانات أكثر مصداقية عن المقاومة.

يجب ملاحظة أي تغير في الظروف السطحية التي يمكن أن تضاها بالتغيرات في درجة التوصيل الكهربي السطحي. كما يجب العلم بأن إمكانية اكتشاف الخام عادة ما تكون مختلفة تماماً أسفل نتوءات الصخور المنكشفة وتحت المستنقعات البينية المتداخلة.

الفصل الثامن

الطرق الكهرومغناطيسية
ELECTROMAGNETIC METHODS

يعتبر "الحث الكهرومغناطيسي" (Electromagnetic (EM) induction)، والذي كان يعامل في الفصل السادس والسابع على أنه مصدرا للتشويش أثناء إجراء الأعمال المساحية للمقاومة الكهربية ولطريقة الاستقطاب الحثي، الأساس لعدد من الطرق الجيوفيزيائية.

وكانت هذه الطرق الجيوفيزيائية تستخدم أساساً في البحث عن تمعدنات خام الكبرتيدات الموصلة للكهربية ولكن زاد استخدامها الآن في إعداد الخرائط وعمليات سبر الأعماق (depth sounding). ولأن للأجسام الموصلة الصغيرة الحجم الكائنة وسط بيئة ضعيفة التوصيل لها تأثير على الحث الكهربي أكبر من تأثيرها على مقاومة التيار المباشر فإن المناقشات تميل للتركيز على درجة التوصيل (σ) وعلى تبادلية المقاومة، أكثر من المقاومة نفسها. وتقاس درجة التوصيل بوحدة "الموهو" لكل متر (moho per metre) أو، بطريقة أكثر دقة، بوحدة "السيمن" (Siemens) لكل متر (Sm^{-1}).

وهناك حالتان محددتان، الأولى منهما تيارات دوامية حادثة (induced) داخل موصل صغير مغمور في مادة عازلة، منتجة لشذوذ منفصل يمكن استخدامه للحصول على موقع الجسم الموصل ودرجة التوصيل. أما الحالة الأخرى، فهي تيارات أفقية ناشئة في وسط من الطبقات الأفقية ويمكن استقراء تأثيراتها على السطح في صيغة

درجة توصيل ظاهري. ولكن تحتوي معظم الحالات الحقيقية على خليط من الموصلات المنفصلة والموصلات المتطابقة مما يتطلب مجهودات أكثر من الخبير الذي يقوم بالاستقراء، وأحياناً من الفني الذي يقوم بتشغيل الأجهزة الحقلية.

وللتأثيرات الموجبة أهميتها فقط عند ترددات أعلى من 10 Khz، حيث يمكن من الناحية الأخرى فهم الطرق الجيوفيزيائية بصورة أكثر سهولة في صيغة تغير في سريان التيار في الموصلات وتغير في المجال المغناطيسي في الفراغ. وحيث إن التغير في المجال المغناطيسي الابتدائي الحسي يحدث عن طريق مرور تيار تبادلي متموج في السلك أو في الملف، فإن هذه الطريقة توصف بالموجة الكهرومغناطيسية المستمرة (CWEM). ويمكن كبديل، استخدام الطرق الكهرومغناطيسية العابرة (transient electromagnetic methods) والتي يحدث فيها التغيرات كنتيجة لإنهاء مرور التيار فجأة.

(٨,١) أنظمة الموجه المستمرة ثنائية الملف
Two-coil CW Systems

يحاط السلك الحامل للتيار الكهربي بخطوط مركزية دائرية للمجال المغناطيسي. وينتج السلك عند انثنائه على هيئة لفة صغيرة، مجالاً مغناطيسياً ثنائي القطبية (ديبول) (الشكل رقم١.٤) حيث يمكن لهذا المجال أن يتغير بتبديل التيار. ويتسبب تغيير هذا المجال في مرور تيارات كهربية في الموصلات المحيطة القريبة (فقرة ٥,٣,٢).

(٨,١,١) وصف النظام System Descriptions

في الأعمال المساحية التي تستخدم فيها الموجة المستمرة (وكذلك في الطرق الكهرومغناطيسية العابرة)، عادة ما تكون المصادر، والمستقبلات عبارة عن حلقات (Loops) أو ملفات (Coils) من السلك. وتنتج مصادر الملفات الصغيرة مجالاً مغناطيسياً ثنائي القطبية يتغير في قوته واتجاهه كما هو موصوف في الفقرة (١,١,٥). وتعتمد سعة (نطاق) الشذوذ على عزم الملف المغناطيسي الذي يتناسب بدوره مع عدد لفات

الملف، وعلى مساحة الملف وعلى دورة التيار فيه. ويعتمد شكل الشذوذ على النظام الهندسي بالإضافة لاعتماده على طبيعة جسم الموصل.

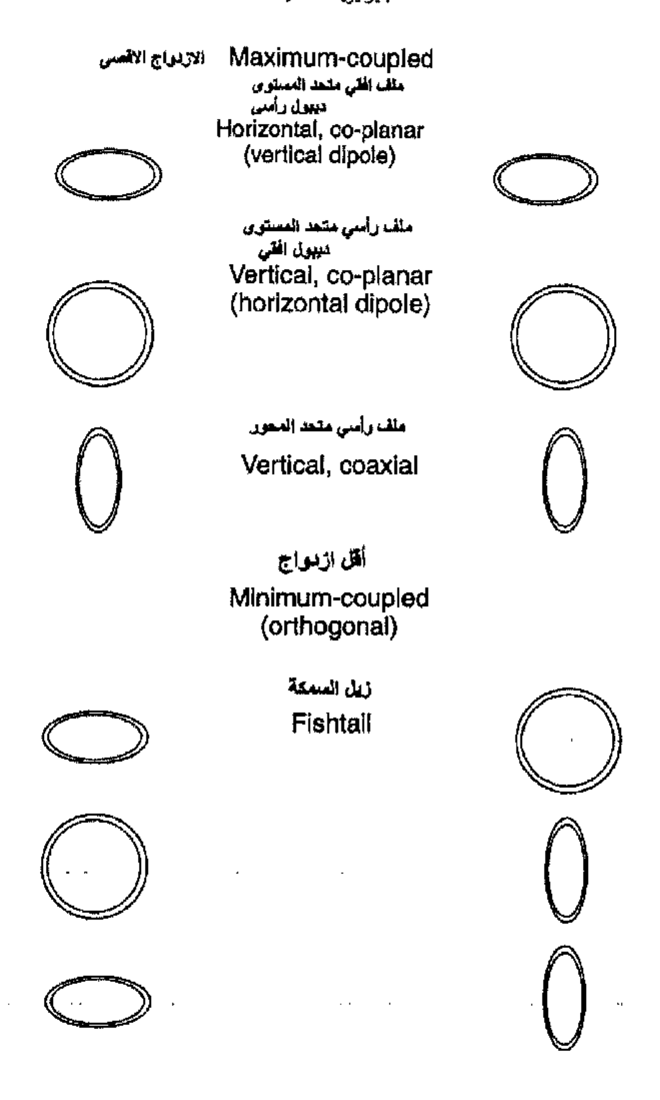
وتوصف الملفات على أنها أفقية أو رأسية على أساس المستوى الذي يقع فيه انثناء اللفات. الملفات الأفقية لها محاور رأسية ويمكن وصفها أيضاً "بالديبول الرأسي" أو "بثنائية الأقطاب الرأسية" (Vertical dipoles).

ويتميز النظام أيضاً بأن ملفات المرسل (transmitter) والمستقبل (receiver) إما أن تكون "متحدة المستوى" (co-planar) أو "متحدة المحور" (co-axial) أو متعامدة (orthogonal) (تصنع زاوية عمودية على بعضها). ويصف الازدواج بين الملفات بأنه إما في نهايته العظمى أو في نهايته الصغرى أو متغير (الشكل رقم ٨.١).

وللملفات متحدة المستوى ومتحدة المحور ازدواجية عظمى (maximum-coupled) حيث يعمل التيار الأول المتدفق من "المرسل" على محور ملف "المستقبل". وتتأثر أنظمة الازدواجية العظمى" قليلاً بالانحراف النسبي الصغير للاصطفاف (misalignment)، ولكن نظراً لإمكانية اكتشاف مجال الطور (phase field) القوى حتى مع انعدام وجود الجسم الموصل، فإن هذه "الازدواجية العظمى" تكون حساسة جداً للتغير في المسافة التي تفصل بين الملفات "المسافة الفاصلة" (coil separation). و"للملفات المتعامدة" "ازدواجية صغرى" (minimum-coupled).

وفي هذه الملفات لا يكتشف المجال الأولي ولا التغيرات الصغيرة في "المسافة الفاصلة" التي تتميز بتأثرها الضئيل. ومع هذا، ينشأ أخطاء كبيرة بأي انحراف في وضع الملفات حتى ولو كان ضئيلاً.

وفي الحقل يمكن إصلاح "المسافة الفاصلة" المطلوبة بصورة أسهل من إصلاح التوجه النسبي، وهذه من الأسباب التي يفضل على أساسها استخدام ملفات "الازدواجية العظمى".



الشكل رقم (٨,٦). أشكال مختلفة من نظم الملفات المستخدمة في الأعمال المساحية الكهرومغناطيسية.

ويوصف (Geonics) المثالي كاتجاه لديبول مغناطيسي أكثر من كونه اتجاه ملف وذلك يظهر كمصطلح مكتوب بين قوسين. ويتنوع الاتجاه النسبي في نظم زاوية الميل، على الرغم من أنه عادة ما يثبت ملف المرسل في وضع أفقي، ويدار ملف المستقبل حتى يأخذ اتجاها أقل إشارة ممكنة.

وكانت أنظمة زاوية الميل التي يدور فيها "ملف المستقبل" (receiver coil) لتحديد زاوية ميل محصلة المجال، شائعة الاستخدام ولكنها أصبحت الآن قاصرة على أجهزة "التصويب الخلفي" (Shoot – back) التي تستخدم في المناطق الوعرة.

وملفات التصويب الخلفي للمستقبل والمرسل متطابقة وهي متصلة بوحدات ألكترونية يمكنها الإرسال والاستقبال. وتلغى التأثيرات الطوبجرافية عن طريق قياس وأخذ متوسطات زوايا ميل ملف الاستقبال مع الملف الأول وعندئذ يثبت الملف الآخر أفقياً ويستخدم كمرسل.

(٢,١,٨) سلينجرام Slingram

تستخدم معظم الأنظمة الكهرومغناطيسية الأرضية الملفات الأفقية "متحدى المستوى" (ذات اللفات الأفقية)، وعادة ما تكون مزودة بسلك مغطى يحمل "إشارة مرجعية للطور"(Phase – reference signal) من المرسل إلى المستقبل.

في كثير من الأعمال المساحية تجهز مواقع للشخصين المشغلين للأجهزة بخدمات إضافية خفيفة حيث توضع في هذه المواقع الأجهزة الثقيلة التي ترتبط ببعضها عن طريق سلك على هيئة "حبل سري" (umbilical cord) يقطع بصعوبة الأراضي الوعرة والأعشاب السميكة.

وفي كثير من الأحيان تتيح بعض الأجهزة أن يستخدم السلك المرجعي (reference cable) أيضاً للاتصال الصوتي. ولحسن الحظ لم يضاف حتى الآن وحدة حفظ ذاكرة لتسجيل المحادثات.

وغالباً ما يستخدم المصطلح السويدي "سلينجرام" على أنظمة الملف الأفقي ولكن بدون اتفاق عام على تحديد ما إذا كان هناك ملفين متحركين أو إذا كان أحدهما أفقيا والآخر متحد المستوى أو أن كانا مرتبطين بسلك مرجعي، حتى يتسنى تطبيق هذه المصطلح.

(٨,١,٣) وظائف الاستجابة Response Functions

في الأعمال المساحية المستخدمة لنظام "سلينجرام" (Slingram Survey)، تتناسب استجابة الجسم الكهرومغناطيسية مع درجة حثه المتبادل (mutual inductance) مع ملفات المرسل والمستقبل وتتناسب هذه الاستجابة عكسياً مع حثه الذاتي (L) الذي يحد من مرور التيار الدوامي.

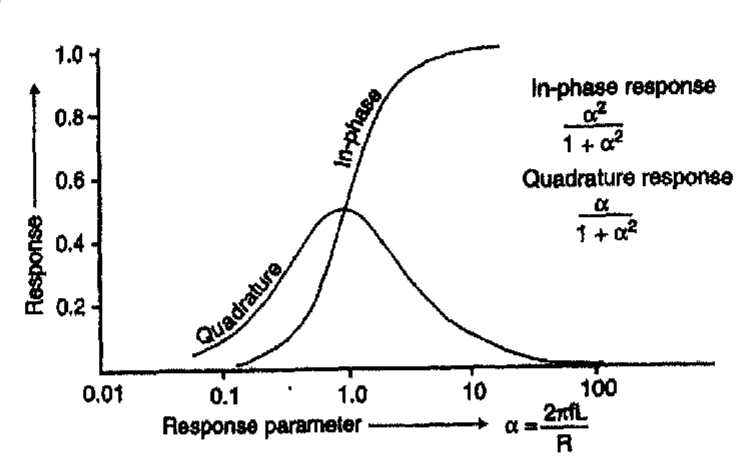
ويعبر عن الشذوذ عموما بالنسبة المئوية للمجال النظري الأولي وعلى ذلك فإنه يتناسب عكسياً مع الحث المتبادل بين المرسل والمستقبل، الذي يحدد قوة المجال الأولي. ويمكن للعوامل الأربعة أن تندمج في عامل مزدوج (coupling factor) واحد هو:

$$M_{ts}M_{sr}/M_{tr}L$$

ويعتمد الشذوذ أيضاً على "عامل الاستجابة" (response parameter) التي يتضمن التردد، والحث الذاتي (دائماً له علاقة وثيقة بالأبعاد الخطية لجسم الموصل) والمقاومة.

ويوضح منحنى الاستجابة (الشكل رقم ٨,٢) في نفس الوقت كيفية تغير الاستجابة فوق أهداف لها مقاومات مختلفة مستخدماً أنظمة ذات تردد ثابت، وكذلك تغير هذه الاستجابة فوق هدف واحد له ترددات مختلفة. لاحظ أن المجال التربيعي (quadrature field) صغير جداً عند الترددات العالية، حيث يميل التمييز بين الموصلات الجيدة والمتوسطة فقط، إلى الاختفاء.

تعمل معظم أنظمة التردد المنفرد (ماعدا الأنظمة التي تستخدم في إعداد خرائط التوصيل الكهربي، كما تم مناقشة ذلك في الفقرة (٨,١,٨) تحت مستوى ١٠٠٠ هرتز، وحتى الأنظمة متعددة التردد والتي تعمل كاملة الآن بصفة عامة تحت ٥٠٠٠ هرتز. ويمكن أن يولد جسم الموصل المحدود الاتساع والفقير في درجة التوصيل، شذوذاً يمكن قياسه (يمكن تحديده) فقط عند أعلى تردد أو لا يمكن قياسه بالمرة (الشكل رقم ٩,١٠).

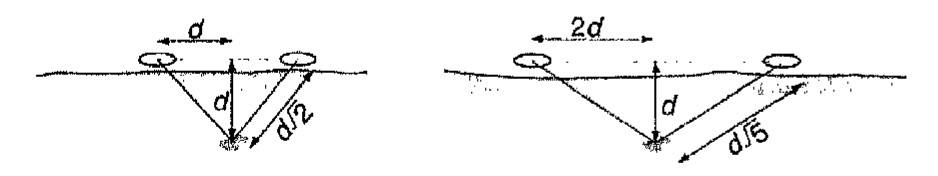


الشكل رقم (٨,٢). منحنيات توضح مدى استجابة الملف الأفقي للنظام EM مع هدف الملف الرأسي كدليل لعامل الاستجابة (α). لاحظ أن مقياس عامل الاستجابة لوجريثمي. (L) تمثل ملف الحث الذاتي، (R) تمثل المقاومة و(F) تمثل التردد. ويمكن أن تاخذ أشكال منحنيات الأهداف المركبة نفس الشكل العام.

(٨,١,٤) تطبيقات سلينجرام Slingram Practicalities

يجب أن تعدل "المسافة الفاصلة" (coil separation) بين الملفات بما يتناسب مع العمق المطلوب اختراقه. فكلما تزداد "المسافة الفاصلة" يزداد العمق المؤثر للاختراق، وذلك يرجع لتأثر "عامل المجال الأولي" (M_{tr}) بالزيادة في "المسافة الفاصلة" بصورة أكبر من تأثر كل من (M_{ts}) أو (Ms_r) (الشكل رقم ٨,٣).

وغالباً ما يعتبر أكبر عمق للاختراق في نظام سلينجرام مساوياً تقريباً لضعف المسافة الفاصلة بين الملفات، بشرط أن تكون هذه المسافة أقل من "عمق القشرة" (skin depth) (الشكل رقم٥,٥) ولكن هذا يتجاهل تأثيرات حجم جسم الهدف ودرجة التوصيل ومن الجائز أن يكون بشكل غاية في التفاؤل.

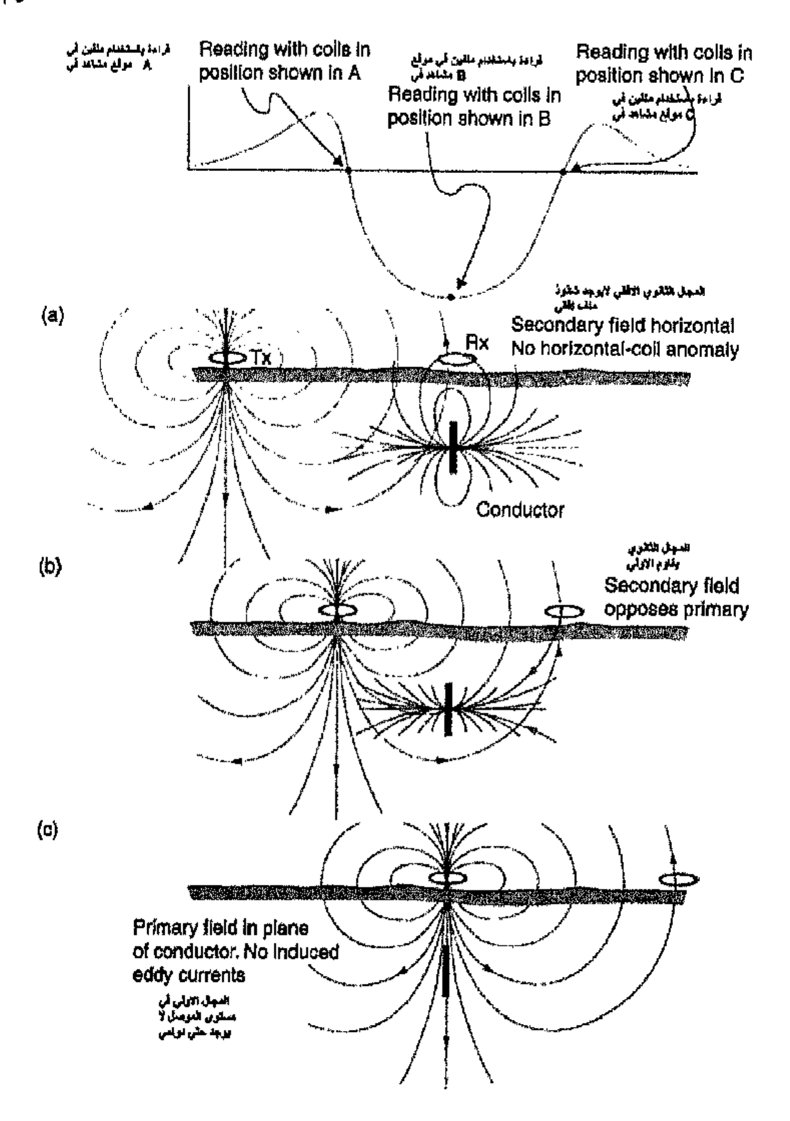


الشكل رقم (٨,٣). علاقة تغير المسافات البينية مع عمق الاختراق. فعندما يتباعد الملفين يصبح التغير الجزئي في المسافة بينهما أكبر من أي من أيهما والموصل في العمق. وهكذا فإن زيادة المسافة البينية تؤدي إلى زيادة مجال الشذوذ كنسبة مئوية من الشذوذ الأساسي. وفي المثال المشاهد في الشكل تؤدي ازدواج المسافة البينية إلى زيادة المسافة بين الملف والهدف بنسبة حوالي ٦٠٪.

ولأن الإشارات (Signals) في الأعمال المساحية لنظام سلينجرام ترجع إلى قوة المجال الأولي، فإنه يجب مراجعة والتأكد من، مستوى الـ (١٠٠٪) عند بداية كل يوم من أيام الأعمال المساحية وذلك بقراءة الجهاز عند مسافات مساحية قياسية على الأرض والتي تكون مستوية ويعتقد بأنها غير شاذة (non – anomalous). ويجب أن تجرى هذه المراجعة حتى مع الأجهزة المزودة بوضعية ثابتة للمسافة الفاصلة، وذلك لأن الانحراف المغناطيسي يسبب مشاكل مستمرة.

ويجب إجراء هذه المراجعة أيضاً لأي تسرب في الإشارات الأولية في "القناة التربيعية" (quadrature channel)، (خلط الطور Phase mixing). ويصف "كتيب الجهاز" كيفية اختبار هذه الحالة وكيفية إجراء التعديل الضروري. ومن الطبيعي أن يتم ضبط كل من "المرسل" و"المستقبل" على نفس التردد وذلك للحصول على قراءات معقولة، ولكن الحرص واجب. ويمكن أن يتعرض "المستقبل" للتلف الحقيقي إذا تم تشغيل تناغم المرسل بصورة مغلقة على تردده الخاص.

يوضح (الشكل رقم ٨,٤) شذوذ نظام الملف الأفقي فوق "جسم موصل" (Conductor) رقيق ومائل بشدة. لم يسجل شذوذا في حالة وضع ملف المستقبل الأفقي فوق الجسم مباشرة وذلك يرجع إلى المجال الثانوي الذي يكون في هذه الحالة في وضع أفقي.



الشكل رقم (٤,٨). أشكال مختلفة من الشذوذ الخاص بالملف الأفقي الناشئ من موصل شديد الميل. على مستوى الميل، يمكن أن تكون المسافة بين الملف الجانبي ومحور المسافة أكبر من جانب الميل السفلي. ويتعين عرض الشذوذ، بصفة عامة، بمقدار المسافة البينية بين الملفات وليس باتساع الهدف.

وبالمثل لا يوجد شذوذ عندما يوضع ملف المرسل في وضع رأسي فوق الجسم وهذا يرجع لعدم حدوث تيارات دوامية محسوسة. وسيشاهد أعلى قيمه (سالبة) للمجال الثانوي عندما يقع جسم الموصل عند المسافة البينية بين الملفين. يعتمد الازدواج على اتجاه الهدف ولذلك فإنه يجب أن تكون الخطوط في وضع قاطع لخط الامتداد المتوقع، حيث تنتج التقاطعات المائلة شذوذاً غير واضح المعالم ويصعب استقراؤه.

توقع (تسجل) القراءات التي تم الحصول عليها من ملفات المرسل والمستقبل المتنقلة عند مواضع متوسطة. وهذه مسئولية لأنه في معظم الحالات حيث التوجيه النسبي للملف يكون ثابت، يكون قطاع الشذوذ (anomaly profile) فوق الأجسام المتماثلة متماثل أيضاً ويكون غير متأثر بالتغيرات الداخلية للمستقبل والمرسل. وحتى إذا لم يكن هذا صحيح تماماً فإن التسجيل عند الموضع المتوسط يقلل من احتمال الخلط والارتباك بصورة أكبر من التسجيل عند موضع المرسل أو المستقبل.

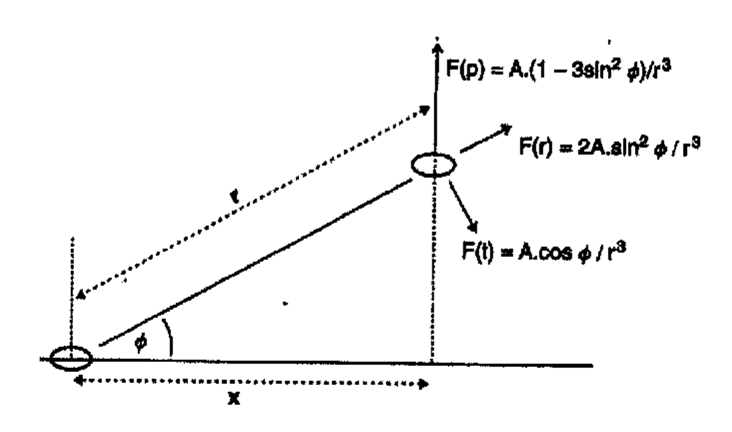
في جميع أعمال المسح الكهرومغناطيسي يجب العناية والاهتمام بتسجيل أي تغيرات بيئية يمكن أن تؤثر في النتائج. وتشمل هذه التغيرات الأجسام الموصلة الحقيقية والظاهرة، وتشمل أيضاً المعالم البيئية الأخرى مثل الطرق، التي غالباً ما يختبئ تحتها أجسام موصلة مصطنعة على طول جوانبها، فقد تتسبب خطوط القوى والتليفونات في تولد مشاكل تتعلق بانتشار التشويش، على الرغم من اختلاف تردده، إلا أنه غالباً ما يكون قوياً بدرجة كافية لمروره خلال "فلاتر اعتراض التشويش الخاصة" (rejection (notch) filters). وأنه من الأهمية بما كان التأكد من أن ترددات هذه الفلاتر (المرشحات) مناسبة للمنطقة التي تستخدم فيها؛ فهي: (٦٠ هرتز في معظم البلاد الأمريكية، و٥٠ هرتز في كل المناطق الأخرى تقريباً).

يجب أيضاً ملاحظة ظروف وطبيعة الأرض، حيث يمكن للتغيرات في درجة توصيل طبقة الردم (overburden) أن تؤثر بدرجة كبيرة جداً في أشكال الشذوذ كما تؤثر

في إشارات الاختراق. في الأقطار الحارة والجافة يمكن أن تولد الأملاح المتواجدة في طبقة الردم درجات عالية من التوصيل الكهربي السطحي لدرجة أن يصبح تطبيق طرق "الموجة المستمرة" (CW) غير مؤثر وأنه يجب استبدالها بالطرق الكهرومغناطيسية العابرة (TEM).

(٨,١,٥) تأثير المسافة الفاصلة بين الملفات Effects of Coil Separation

يمكن أن تحدث التغيرات في الازدواج بين المرسل والمستقبل شذوذاً صنفياً داخلياً زائفاً (in-phase anomalies). ويمكن وصف المجال (F) الذي يقع على مسافة (r) من الملف على صورة "مركبة شعاعية" F(r) و"مركبة مماسية" F(t) (الشكل رقم ٨,٥). ويعتمد "عامل السعة" (amplitude factor) الذي يرمز له بـ (A)، على أبعاد الملف وقوة التيار.



الشكل رقم (٨,٥). رسم تخطيطي للمكونات الحقلية الناتجة من ملف يحمل تيار كهربي ويعمل كمصدر لديبول مغناطيسي. وتمثل F(r)، F(t) المركبتين الشعاعية والمماسية على التوالي. وتمثل F(p)، التي يمكن الحصول عليها بإضافة المركبة الرأسية لكل منهما، المجال الأولي المقاس بملف المستقبل الأفقي.

وفي الملفات متحدة المستوى (co-planer coils)، تكون F (r) تساوي صفراً لأن الزاوية (Φ) تساوي صفرا ويصبح المجال (F) المقاس في هذه الحالة يساوي F(t). وعندئذ يتضمن قانون التكعيب العكسي للمصادر مزدوجة القطبية "للتغير الجزئي" (X):

$$F = F_0 / (1 + X)^3$$

حيث تمثل (F_0) قوة المجال عند المسافة المطلوبة. وإذا كانت (X) صغيرة، فإن هذا القانون يمكن كتابته على هيئة:

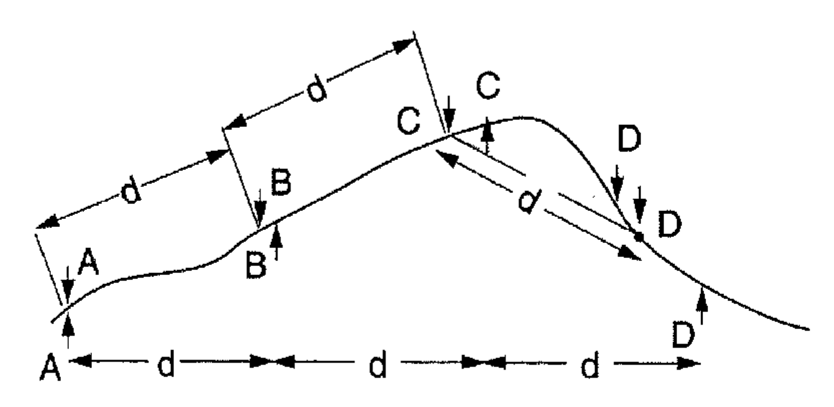
$$F = F_0 (1 - 3X)$$

وهكذا يترتب على الخطأ الصغير، زيادة نسبة خطأ في "مركبة الطور الداخلية" (in phase component) إلى ثلاثة أضعاف نسبة الخطأ في المسافة. وحيث إن الشذوذ الحقيقي لنسبة ضئيلة فقط يمكن أن تكون مهمة، فإنه يجب أن تكون المسافة الفاصلة ثابتة جداً.

(٨,١,٦) الأعمال المساحية على المنحدرات الجبلية Surveys on Slopes

يمكن أن تقاس المسافة بين النقط المساحية (Survey pegs) على الأرض المنحدرة إما بمنظور أفقي (secant chaining) وإما مباشرة على طول المنحدر (الشكل رقم ٨,٦). وإذا استخدمت المسافة على طول المنحدر في المناطق البسيطة الانحدار بشكل واضح فإنه يجب أن تكون المسافة الفاصلة بين الملفات ثابتة، ولكنه من الصعب الاحتفاظ بأفقية الملفات "المتحدة المستوى" من غير تحديد خط واضح للرصد. وعندئذ يتساوى المجال F(p) على طول محور المستقبل بالمجال المتحد المستوى مضروباً في ($1\text{-}3 \sin^2 \theta$) حيث θ تساوى زاوية الانحدار (الشكل رقم ٨,٧).

ودائماً ما يكون "عامل التصحيح" (correction factor) الذي يساوي 1/(1-3 sin2 θ) أكبر من واحد (الملفات تكون في نهاية ازدواجها العظمى، وتصبح في المالانهاية عندما تكون زاوية الانحدار تساوي ٣٥ ° ويكون المجال الأولي أفقياً (الشكل رقم ٨,٧).

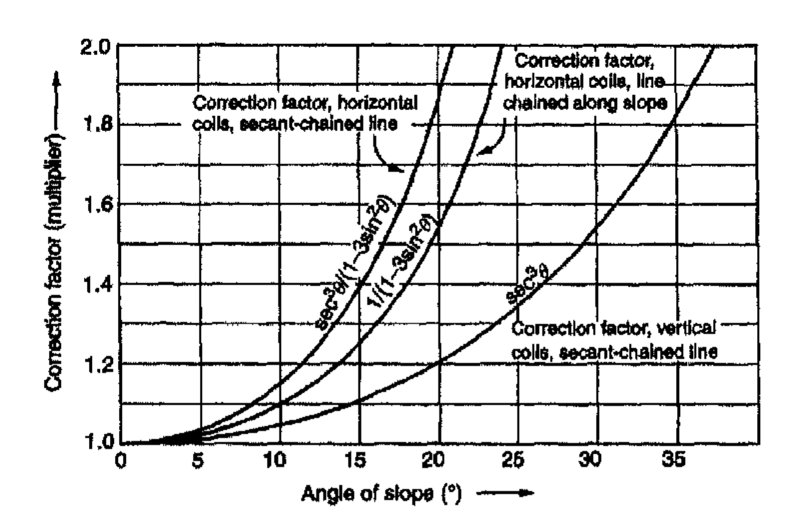


الشكل رقم (٨,٦). طريقة قياس المسافة بين نقط مساحية أفقية أو على طول المنحدر. وتمثل الأسهم السفلية مواقع المحطات المفصولة بمسافة بينية (d) مقاسة بالمتر على طول المنحدر. وتمثل الأسهم العلوية مواقع سلسلة محطات القياسات الأفقية المفصولة بالمسافة البينية (d) مقاسة بالمتر في الاتجاه الأفقي . بين النقطتين (C)، (D)، حيث "طول الموجة" الطوبجرافية أقل من المسافة البينية بين المحطات، تكون المسافة من (C')، (D') (والمسافة البينية بينهما قد قيست على هيئة مجموع المقاطع الجزئية القصيرة على طول المنحدر) أقل من (d). وعلى ذلك يصبح الموضع المصحح على المنحدر (D).

وعندما تستخدم طريقة بالمنظور الأفقي (secant chaining)، فإن المسافة على طول المنحدر بين الملفات تتناسب مع (secant) وهي تساوي (1/cosine) زاوية الانحدار. وفي الملفات "المتحدة المستوى" (co – planer) المائلة (tilted) تكون نسبة المجال العادي (normal) إلى المجال المنحدر (slope) على ذلك تساوي ($\cos^3 \theta$) و"عامل التصحيح" يساوي ($\text{Sec}^3 \theta$). وإذا تم تثبيت الملف في وضع أفقي، فإن عامل التصحيح المشترك يساوي ($\sec^3 \theta / 1\text{-}3 \sin^2 \theta$) (الشكل رقم ٨,٧).

ويمكن أن تختلف "المسافة الفاصلة" في المناطق الوعرة عن قيمتها العادية "الإسمية"(nominal) إذا كانت "المسافة الفاصلة" بين الملفات أكبر من المسافة المقاسة على المنحدر (الشكل رقم ٨,٦). في هذه المناطق تستلزم أعمال مساحية دقيقة ويمكن أن يحتاج

فريق العمل الحقلي للتزود بكشف بميول الملف اللازم لكل محطة. ويصبح هناك احتياج شديد إلى أجهزة خاصة مزودة بمقياس للميل ودوائر اتصال، وبالرغم من توفر كل ذلك فإن هناك احتمال لظهور أخطاء عادية، وتميل مستويات التشويش إلى الارتفاع.



الشكل رقم (٨،٧). رسم بياني يوضح كيفية إجراء التصويبات الخاصة بالانحدار والناتجة عن نظام الملف المزدوج والمعاير للاستخدام في نموذج أفقي، الملف متحد المستوى. يجب ضرب القراءات في عوامل مناسبة.

(٨،١،٧) تطبيق التصحيحات Applying the Corrections

في أي "خطأ ازدواجي" (coupling error)، سواء كان بسبب المسافة أو الميل، فانه يمكن التعبير عن "المجال الصنفي الداخلي" (in – phase field) الذي قد يشاهد مع عدم وجود "جسم موصل"، بنسبة "النهاية العظمى للمجال المزدوج" (maximum – coupled, Fo) والذي يرمز له بالرمز (Fo).

ويحسب المجال ليصبح ٩٢٪ من النسبة (Fo) لأنه يمكن تحويل المجال المزدوج الذي لا يصل إلى النهاية العظمى (non – maximum coupling) إلى ١٠٠٪ وذلك إما بإضافة ٨٪ أو بضرب القراءة الحقيقية (الفعلية) في ١٠٠/٩٢. وإذا كانت القراءة التي تم الحصول عليها وصلت إلى ٩٢٪، فإن هاتين العمليتين تنتجان نتائج متطابقة مع ١٠٠٪. ومع هذا، إذا كان هناك مجال ثانوي إضافي (أي أنه إذا كانت القراءة الفعلية ٨٠٪)، فإن إضافة ٨٪ يمكن تصحح فقط المجال الأولي (تحول الـ ٨٠٪ إلى ٨٨٪ وتدل على وجود شذوذ قدره ١٢٪).

ويمكن تطبيق عملية الضرب في تصحيح المجال الثانوي أيضاً والذي قد يدل على شذوذ قدره ١٣٪. وكلا الطريقتين ليس صحيحاً، ولكن تطبق المبادئ الموضحة في (الشكل رقم ٨,٣) والتي تعنى كلما زاد عمق الجسم الموصل كلما قل تأثير "خطأ المسافة على المجال الثانوي.

وحيث أن أي جسم موصل يمكن رصده عندما يكون قريب من السطح بقدر كاف، فإن إجراء التصحيح بتطبيق عملية الضرب يكون كافياً بشكل عام، ولكن في معظم الحالات ستكون الاختلافات تافهة.

تسبب "أخطاء الازدواج" مشاكل ضئيلة إذا شوهدت مجالات تربيعية، حيث إن هذه المجالات تمثل شذوذاً حسب التعريف (على الرغم من أن الشكل رقم (٨,٢) يوضح أنها قد تكون صغيرة للموصلات الجيدة جداً والرديئة التوصيل على السواء).

ويمكن إجراء تصحيح مبدئي مستخدمين "الصنف الداخلي المضروب فيه" (in – phase multipliers) ولكن هناك عدد قليل من النقط تفعل ذلك في الحقل. ويمكن ترك تفاصيل المشاكل الناتجة من تغيرات في الازدواج بين المرسل والمستقبل والموصل الثالث، للخبير الذي يقوم بالاستقراء، بشرط أن يحتوي دفتر الحقل على وصف دقيق لشكل النظام وطوبجرافية الموقع.

(٨,١,٨) قياس درجة التوصيل الأرضي Ground Conductivity Measurement

تستخدم أنظمة سلينجرام الآن في الإعداد السريع لخرائط درجة التوصيل. في الترددات المنخفضة ودرجة التوصيل الضعيفة تكون التيارات الدوامية صغيرة، و"انحراف الصنف" (phase shifts) قريب من ٩٠ درجة، وتتناسب المقاومة الظاهرية الكلية للأرض مبدئياً مع النسبة بين المجال المغناطيسي الأولي (الصنف الداخلي) والمجال المغناطيسي الثانوي (الصنف التربيعي).

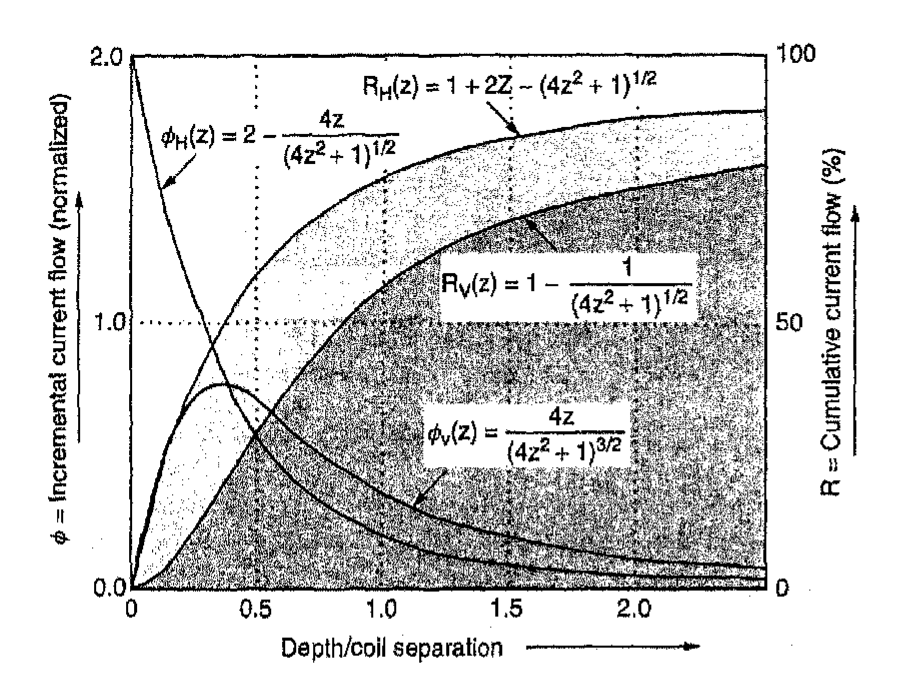
وتستخدم الترددات العالية نسبياً للتأكد من الإشارات التي يمكن قياسها في معظم الظروف الأرضية. إذا كان رقم الحث الكهربي (induction number) الذي يساوي المسافة بين المستقبل والمرسل مقسوماً على عمق القشرة، أقل من الوحدة بكثير، فإن العمق المراد دراسته يحدد بمعرفة "المسافة الفاصلة" بين الملفات.

في حالة الرقم الحثي الكهربي المنخفض يكون مرور التيار الحثي في أرض متجانسة أفقياً بكاملة، بغض النظر عن اتجاه الملف، وفي أرض متطابقة أفقياً يكون مرور التيار في طبقة واحدة يتأثر بصعوبة بأي تيارات في الطبقات الأخرى.

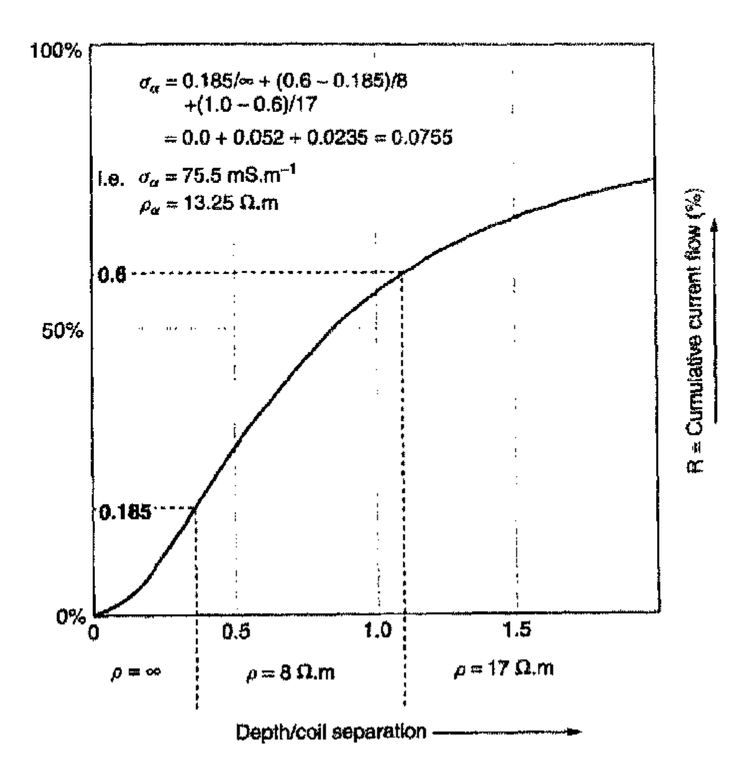
ويوضح (الشكل رقم ٨،٨) كيفية تغير مرور التيار مع العمق في حالة كل من الملف الحثي الأفقي والرأسي في هذه الظروف السابق ذكرها. سبب واحد ظاهر في الملفات الأفقية يجعلها منفصلة (نعني به الديبول الرأسي). تزيد درجة الاستجابة للملفات الرأسية المتحدة المستوى وبالتالي تقدير درجة التوصيل الظاهري في الطبقة السطحية.

تدل حرية مرور التيار على مستويات مختلفة على إمكانية استخدام المنحنيات في (الشكل رقم ٨،٨)، وهي التي تعبر عن وسط متجانس بشكل محدد، لحساب المقاومة الظاهرية النظرية لوسط متطابق (الشكل رقم ٨،٩). وباستخدام هذا المبدأ فإنه يمكن إلى حد ما دراسة التطابق (layering) عن طريق رفع أو تخفيض الملفات ضمن طبقة الهواء التي تمثل درجة توصيل تساوي صفراً.

ومبدئياً يمكن أيضاً دراسة التطابق عن طريق استخدام مجموعة ممتدة من الترددات، ولكن يفضل اتساع امتداد الترددات، كما يفضل أصلاً طرق "الحزمة العريضة" (broad band) مثل TEM (العنوان رقم ٨،٤) أو CSAMT/MT (العنوان رقم ٩،٤).

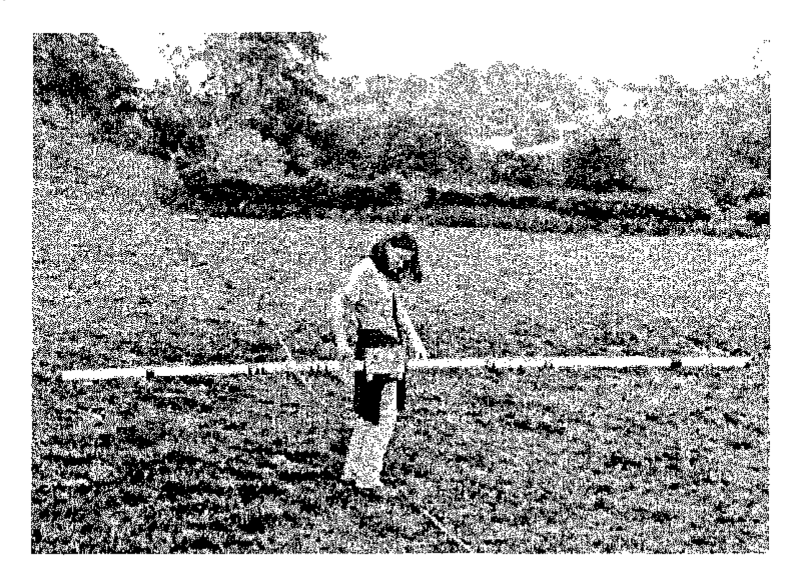


الشكل رقم (٨،٨). العلاقة بين التغيرات في "التيار الحثي" والعمق في أرض متجانسة في أنظمة الملفات المتحدة المستوى تعمل عند أرقام حثية منخفضة. وتوضح المنحنيات التيار الكلي المنساب في الحيز المحصور بين السطح والمستوى في العمق، لجزء من الانسياب الكلي للتيار. يشير الحرف (h)، (v) إلى الديبول الأفقي والديبول الرأسي، متبعاً المصطلحات المستخدمة في جهاز (EM–31)، وجهاز (EM–34).



الشكل رقم (٨,٩). طريقة حساب "قانون الرقم الحثي" للمقاومة الظاهرية لطبقات الأرض. ويتعين سمك الطبقة الأولى عن طريق ارتفاع الملفات فوق مستوى سطح الأرض. ويؤدي ذلك إلى إدخال طبقة الهواء التي لها مقاومة لا نهائية وفي هذا المثال يصل السمك ١ متر.

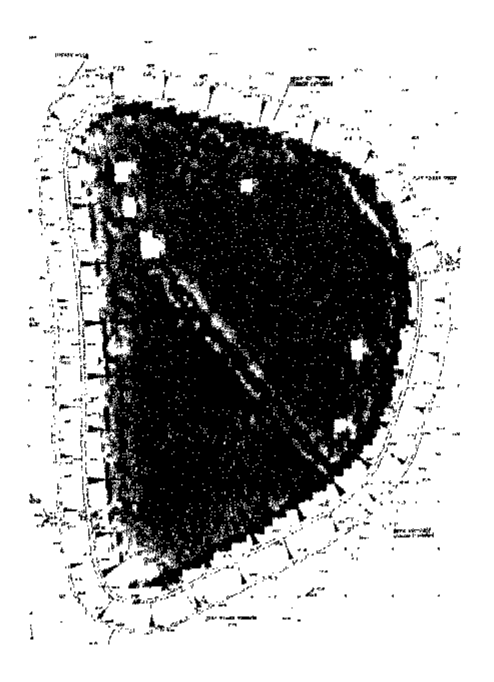
جهاز جيونيكس (Geonics EM-31) (الشكل رقم ٨,١٠) مثال لأجهزة الملفات "المتحدة المستوى" الذي يمكن استخدامه مع شيء من المخاطرة على الحياة وخاصة على أطراف جسم الإنسان في المواقع الصعبة، بواسطة شخص واحد وذلك للحصول على تقييم سريع للمقاومة الظاهرية (ويمكن اكتشاف أجسام اصطناعية موصلة للكهربية مثل اسطوانة مدفونة أو سلك مدفون).



الشكل رقم (٨,١٠). صورة لجهاز (EM -31) يستخدم في مناطق مفتوحة.

وطبيعياً أن تحمل الملفات أفقية لتعطي، عند رقم حثي منخفض، عمق اختراق يصل على حوالي ٦ أمتار وبنصف قطر يصل إلى ٣ أمتار وذلك باستخدام مسافة فاصلة ثابتة تصل إلى 3.7m. وهذا يقارن بطول كلي قدره (20-30m) من ترتيب وينر مع عمق اختراق متشابه (فقرة ٦.١.٣).

ويوضح (الشكل رقم ٨.١١) نتائج المسح التفصيلي لجهاز EM – 31 لمنطقة بها بلوعات أرضية (sinkholes) في صخور جيرية من الطباشير، حيث أجريت هذه الأعمال على قمة طبقة سطحية مكونة من غشاء بلاستيك يكون مادة التبطين لخزان صغير. ويمكن إجراء القياسات (على الرغم من عدم سهولتها) باستخدام الملفات الرأسية، منصفاً عمق الاختراق. من بين الأجهزة الأقصر وعلى ذلك فهي الجيل الأكثر حداثة يصل طوله حوالي المترين وعلى ذلك يوفر درجة نقاء في النتائج ولكن لعمق اختراق ٤ أمتار فقط.



الشكل رقم (٨,١١). صورة رقمية لنتائج مسح المقاومة التوصيلي باستخدام (EM – 31).

وكلا الجيلين لجهاز (EM – 31) يعملان عند تردد ٨,٩ كيلو هرتز (Khz). والأكثر قوة من الأجهزة والتي يستخدمها شخصان، فإن جهاز جيونيكس (EM – 34 - 3) (الشكل رقم ٥.١) يستخدم ترددات تصل إلى ٠,٤ ، ١,٦ ، ٦,٤ كيلو هرتز بمسافات بينية تصل إلى ٤٠ ، ٢٠ ، ١٠ متر على الترتيب. ويضاعف التردد أربعة مرات كل مرة تنزل فيها "المسافة الفاصلة" بين الملفات إلى النصف وذلك حتى يظل الرقم الحثي ثابت.

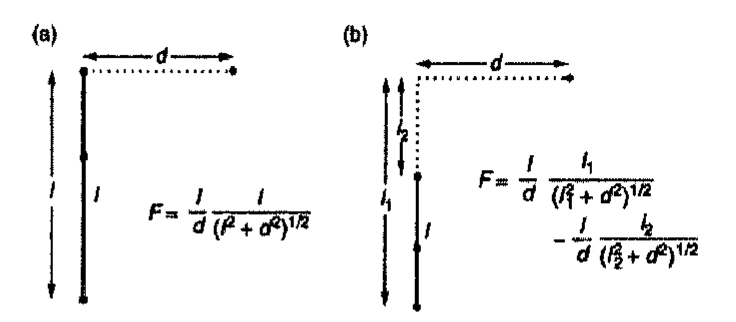
وترصد المسافة الفاصلة بين الملفات وذلك باستخدام "إشارات الصنف الداخلية" (in – phase signal).باستخدام الملفات الأفقية يصل عمق الاختراق إلى ١٥ ، ٣٠ ، ٦٠ متر بينما يصل هذا العمق إلى ٧,٥ ، ١٥ ، ٣٠متر مع استخدام الملفات الرأسية. ويتم معايرة جهاز (EM – 34 – 3) مثل جهاز (EM – 31) حتى يتسنى قراءة درجة التوصيل مباشرة بوحدة (mSm^{-1}).

(٨,٢) طرق الموجة المستمرة الكهرومغناطيسية
Other CWEM Techniques

يمكن إنجاز الأعمال المساحية الكهرومغناطيسية للموجة المستمرة باستخدام مصادر السلك الطويل بدلاً من استخدام الملفات وكثيراً هندسة النظم المختلفة. ويمكن مناقشة ذلك باختصار كما يلي:

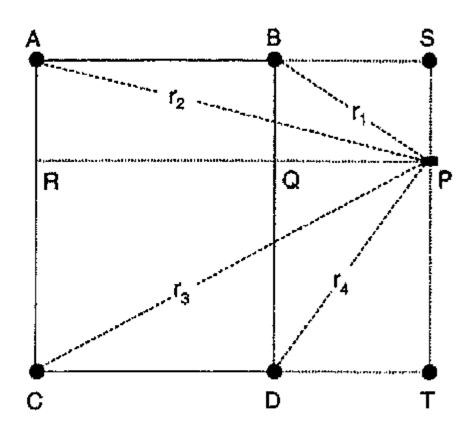
(٨,٢,١) طرق المصدر الثابت Fixed – Source Methods

يمكن حساب المجالات المتولدة عن طريق الأسلاك المستقيمة الحاملة للتيار بتكرار تطبيق "قانون البايوت سافرت" (Biot - Savart law) (الشكل رقم ٨,١٢).



الشكل رقم (٨,١٢). تطبيقات قانون "بايوت – سافرت" في طرق المصدر الثابت. يمكن اعتبار أي سلك مرسل طويل كأنه مركب من عناصر من النموذج في (a). ويمكن استخدام عنصرين من هذه العناصر لهما اتجاهين للتيار متقابلين، في حساب الحالات المذكورة في (b) حيث تقع نقطة المشاهدة خلف طرف السلك.

ويوضح (الشكل رقم٨,١٣) العلاقة بين الأربعة أسلاك التي تكون الملف المستطيل. وإذا وقعت النقطة المراد قياسها خارج هذا الملف، فإن المتجهات التي لا تقطع أي جانب من الملف تكتسب إشارات سالبة.



P is the point of observation
ABCD is the transmitter loop
A_1 is the area of PQBS
A_2 is the area of PRAS
A_3 is the area of PQBS
A_4 is the area of PQDT
I is the current in the loop

$$F = kI\left[\frac{r_1}{A_1} + \frac{r_2}{A_2} + \frac{r_3}{A_3} + \frac{r_4}{A_4}\right]$$

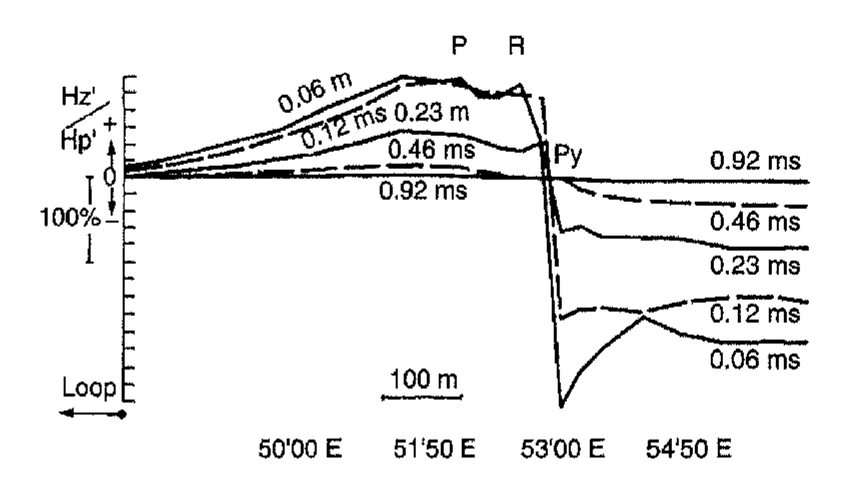
In this example r_1 and r_4 lie wholly outside the loop and must therefore be given negative signs

الشكل رقم (٨,١٣). المجال الأولي الذي يرجع إلى المصدر الثابت حيث يحمل الملف المستطيل تيار مقداره (I) وإذا قيست (I) في amps والمسافة مقاسة بالأمتار حيث ($K = 10^{-7}$) لـ (F) في (Waber. M^{-2}).

كان شذوذ طريقة سلينجرام (Slingram anomaly) الموضح في (الشكل رقم ٨,٤) متماثلاً لأن ملف المستقبل والمرسل كانا يتحركان فوق جسم الموصل بطريقة متعاقبة (تباعاً). وإذا كان لابد من تثبيت المصدر، سواء كان ملفاً أو سلكاً مستقيماً، فإن هناك وضعاً للصفر عندما يقع ملف المستقبل الأفقي مباشرة فوق جسم شديد الميل، ويكون الشذوذ في هذه الحالة مضاد للتماثل (anti-symmetric) (الشكل رقم ٨,١٤). تقيس أنظمة المصدر الثابت غالباً زوايا الميل أو (وهي بطريقة مؤثرة نفس الشيء) النسب بين المجالين الرأسي والأفقي.

تستخدم طرق "ترام" (Turam) (وتعني بالسويدية الملفان Two coils) مصادر ممتدة ثابتة وملفين للاستقبال منفصلين بمسافة بنظام العشرة أمتار. وتقدر درجة الشذوذ بحساب "النسب المختزلة" (reduced rations) أنها تساوي النسب الحقيقية لسعة الإشارة من خلال الملفين مقسوماً على "النسب العادية" (normal rations) التي يمكن أن تشاهد

في المنطقة الغير موصلة. وتقاس اختلافات الصنف (phase differences) بين التيارات الكهربية الناشئة في ملفي المستقبل، وأي قيمة غير صفرية تعتبر شذوذاً.



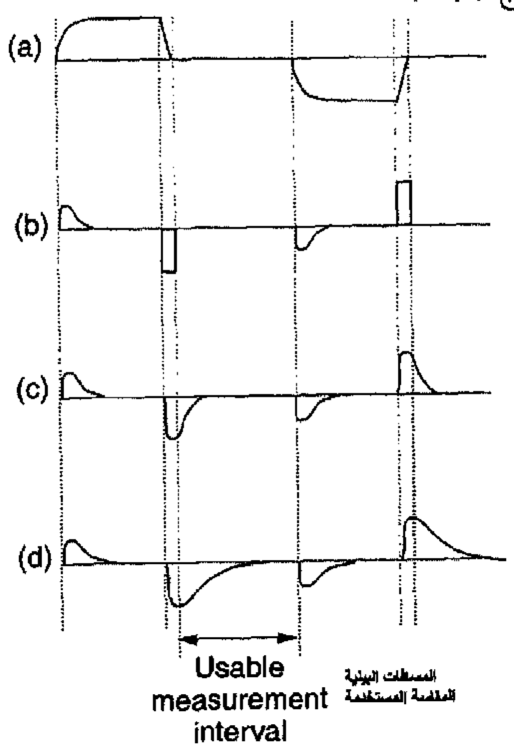
الشكل رقم (٨,١٤). مثال توضيحي يمثل استكشاف المعادن باستخدام البيانات الكهرومغناطيسية العابرة UTEM من ملف ثابت حيث تظهر مركبة الشذوذ الرأسية على هيئة قطاعات فردية لأزمنة الإعاقة، ويدل الشذوذ الضئيل (P) على وجود معادن اقتصادية، بينما تنشأ (R) من معدن البيريت المكشوف.

ولا يوجد سلك مرجعي بين المستقبل والمرسل ولكن يمكن حساب الأصناف (phases) والنسب المطلقة نسبة إلى كل قراءة مفردة (single base) بشرط أن تؤخذ كل قراءة متتابعة من "الملف المسحوب" (training coil) بمجرد وضعه مكان "الملف (الآخر) المرشد" (leading coil) مباشرة.

وطريقة الموجة المستمرة "ترام" (CWEM Turam) قليلاً ما تستخدم الآن ولكن المصادر الثابتة الكبيرة شائعة الاستخدام في الأعمال الطرق الكهرومغناطيسية العابرة (TEM).

(٨,٣) الطرق الكهرومغناطيسية العابرة
Transient Electromagnetics

توفر النظم "الكهرومغناطيسية العابرة" (TEM) معلومات وبيانات عن "التردد المتعدد" (multi-frequency) عن طريق إعادة وتكرار أخذ عينات من المجالات المغناطيسية العابرة التي تستمر بعد قطع تيار المرسل. وتمر الموجة المربعة المعدلة من النمط الموضح في (الشكل رقم ٨,١٥) في دوائر المرسل، وتحث الموجة العابرة في الأرض مع ارتفاع وانخفاض "الاهتياج" (ramps).



الشكل رقم (٨,١٥). أنواع من أشكال الموجة في طريقة TEM. (a) شكل الموجة الناشئة من المرسل. (b) إشارة حثت في مستقبل نتيجة لمجال أولي. (c) إشارة حثت في مستقبل نتيجة لتيارات تدور في موصل رديء. (d) إشارة حثت في مستقبل نتيجة لتيارات تدور في موصل جيد.

ويتم أخذ الملاحظات عند التيارات الحثي أثناء انخفاض الاهتياج فقط، حيث إن هذه التيارات فقط هي التي يمكن قياسها في غياب المجال الأولي. وهكذا يصبح من المرغوب فيه أنه يجب أن يكون "الاهتياج الصاعد" العابر (up-ramp transients) ضئيلاً ويضمحل وينتهي سريعاً، وغالباً ما يكون الاهتياج الصاعد متناقصاً تدريجياً (tapered) معتزلاً التأثير الحثي.

وفي المقابل يقطع مرور التيار بسرعة على قدر الإمكان بغرض تعظيم التأثير الحثي في الأرض. وهذا يعني أنه يجب الإقلال من الحث الذاتي للمرسل، وأنه يفضل استخدام الملفات وحيدة الالتفاف عن الملفات "متعددة الالتفاف" (multi-turn coils).

(٨,٣,١) أسس الأعمال المساحية الكهرومغناطيسية العابرة

TEM Survey Parameters

يمكن أن يستخدم النظام الذي ينعدم فيه المجال الأولي بينما يتمتع المجال الثانوي بقوى كبيرة جداً. والطرق الكهرومغناطيسية العابرة شائعة الاستخدام في المناطق التي تكون فيها درجة التوصيل الكهربي لطبقة الردم عالية ويكون اختراق عمق القشرة محدود.

وحيث أن القياسات تؤخذ عندما لا يوجد مجال أولي، فإنه يمكن أيضاً استخدام "ملف مرسل" قد يكون له جوانب يصل طولها ١٠٠ متر أو أكثر، وذلك لاستقبال المجال الثانوي. وكبديل فإنه يمكن وضع ملف مستقبل صغير مع الملف. ويمكن استخدام هذه التقنية في الأعمال المساحية الكهرومغناطيسية (CWEM) فقط مع ملفات المرسل الواسعة جداً حيث تنشأ الازدواجية القوية للملف الأولي.

ومن المحتمل أيضاً إجراء الأعمال المساحية للطريقة الكهرومغناطيسية العابرة "سلينجرام"(Slingram surveys)، ويمكن أن تستخدم معظم الأنظمة التجارية العديد من أشكال الملفات المختلفة. فهي تختلف في طريقة حملها وفي تفاصيل برامج أخذ

العينات. وفي ذلك قد يكون نظام (SIROTEM) مثالياً. فهو ينتج موجه تيار رباعية (square-wave current) بطريقة متساوية في كل الأحوال وبمدى يتراوح بين ٢٣ و١٨٥ متر ثانوية (msec). ويمكن أن يتكرر تسجيل فرق الجهد (voltage) ملف المستقبل ٣٢ مرة مختلفة أثناء اضمحلال التيار الدوامي (eddy – current) ويمكن أخذ متوسطات الإشارة مرات كثيرة تصل إلى ٤٠٩٦ دورة.

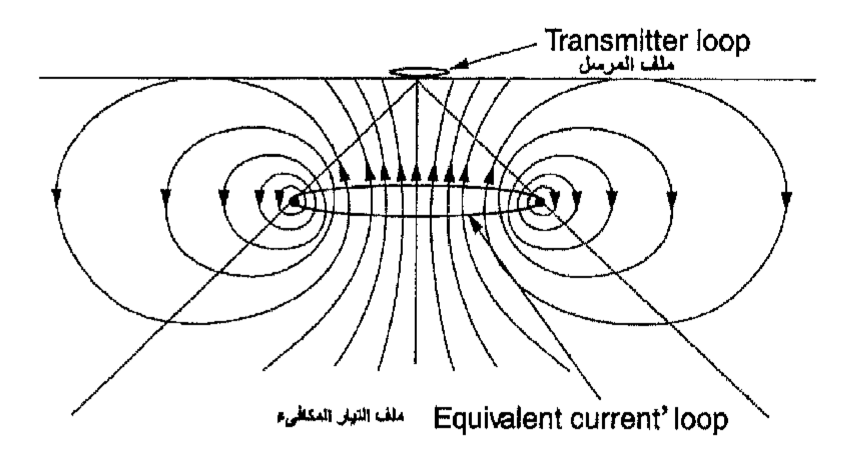
والبديل في هذا الشأن يمكن أن يتحقق عن طريق نظام (UTEM)، الذي يدور فيه التيار على شكل دقيق لموجه مثلثة وبتردد أساسي يتراوح ما بين ٢٥، ١٠٠ هرتز، في ملف واسع مستطيل. وفي غياب التوصيل الكهربي الأرضي تكون الإشارة المستقبلة التي تتناسب مع الزمن المشتق من المجال المغناطيسي، على هيئة موجة مربعة. ويلاحظ الانحراف عن هذا في المجالات المغناطيسية الرأسية والمجالات الكهربية الأفقية عن طريق أخذ عينات عند ثماني أزمنة للإعاقة (time delays).

وفي استكشاف المعادن، تمثل البيانات الكهرومغناطيسية العابرة (TEM)، عادة على هيئة قطاعات فردية لأزمنة الإعاقة (الشكل رقم ٨,١٤). وتتميز النتائج عند أزمنة الإعاقة القصيرة بانتشار التيارات الدوامية بحجم كبير، ونسبياً رديئة التوصيل الكهربية. ويضعف هذا سريعاً جداً وتتميز الأجزاء الأخيرة من منحنيات الاضمحلال بانتشار دوران التيارات في أي موصلات جيدة التوصيل يمكن أن تتواجد.

(٨,٣,٢) عمق السبر باستخدام الطرق الكهرومغناطيسية TEM Depth Sounding

تم تطوير الطريقة "الكهرومغناطيسية الزائلة" (TEM) أصلاً بغرض التغلب على بعض عيوب طريقة "الموجه المستمرة" (CWEM) في عمليات استكشاف المعادن، ولكن هذه الطريقة تستخدم أيضاً بصورة شائعة في دراسات السبر العميق (depth sounding). في حالة الأراضي المتجانسة أو ذات التطابق الأفقي يحدث انقطاع مرور التيار في ملف المرسل تأثيراً حثياً مشابهاً لتيار الملف أو الحلقة في الأراضي المجاورة.

وعندئذ يضمحل هذا التيار محدثاً حثاً على هيئة حلقة تيار إضافية لها نصف قطر أكبر قليلاً عند عمق أكبر قليلاً. وهكذا يتزايد التيار الحثي خلال الصخور التحت سطحية على هيئة "حلقة دخانية" (smoke ring) ممتدة (الشكل رقم ٨.١٦)، وتتحدد المجالات المغناطيسية المصاحبة مع التقدم الزمني المتأخر عن طريق مرور التيار (وعليه عن طريق المقاومة) مع ازدياد العمق المتقدم.



الشكل رقم (٨,١٦). شكل التيار الحثي على هيئة "حلقة دخانية ممتدة" في وسط طباقي. ويحدد "ملف التيار المكافئ" موضع أعلى مرور للتيار في بعض الوقت بعد انتهاء مرور التيار في ملف المرسل. وتحدد الخطوط المائلة حدود المخروط الذي يتمدد الملف داخله. وتشير الأسهم إلى خطوط المجال المغناطيسي.

وقد استخدم المسح بالطريقة الكهرومغناطيسية الزائلة (TEM surveys) التي يستخدم فيها ملفات المرسل ذات ١٠٠ متر وذلك للحصول على تقدير للمقاومة في أعماق تصل إلى عدة مئات من الأمتار، وأحياناً قد يحتاج الأمر إلى مصفوفات يصل طولها إلى عدة كيلومترات في الطول إذا استخدمت طريقة التيار المباشر (DC) التقليدية.

وإذا تواجد جسم محلي جيد التوصيل، سواء كان هذا الجسم براميل زيت مدفونة أو خام كبرتيدات، فإن تأثيرات التيارات الدوامية التي استحثت في هذه الأجسام ستكون سائدة في الأجزاء الأخيرة من منحنيات الاضمحلال وقد تمنع وصول إمكانية الحصول على بيانات صحيحة عن السبر العميق. ويمكن أن يحتاج الأمر إلى تحريك نسبي قليل لوضع ملفات المرسل والمستقبل لحل هذه المشكلة.

(٨,٣,٣) الطريقة الكهرومغناطيسية الزائلة (TEM) والطريقة الكهرومغناطيسية للموجة المستمرة (CWEM)

تتساوى كل من طريقة (TEM)، وطريقة (CWEM) من الناحية النظرية ولكن لكل منهما مميزاته وعيوبه المختلفة، وهذا يرجع إلى الاختلاف البين في المصادر الأساسية للتشويش.

ولأن التشويش في طريقة (CWEM) ينشأ غالباً من الاختلافات في الازدواجية بين ملفي المرسل والمستقبل، فإنه يجب إما الاحتفاظ بثبوت "المسافة الفاصلة" بين الملفين وكذلك بثبوت الاتجاه النسبي أو إذا كان هذا غير محتمل فإنه يجب إجراء القياسات بدقة متناهية. ويجب أيضاً أن تكون دوائر المستقبل مستقرة تماماً، ولكن ومع هذا فإنه من الصعب التأكد من عدم التغير الكبير لمستوى الـ ١٠٠٪ (بالنسبة لقناة الصنف الداخلي in – phase channel) ومستوى الـ صفر٪ (بالنسبة للقناة التربيعية) أثناء بحر اليوم كله.

ولأن جميع هذه المصادر المحتملة للتشويش مصاحبة "للمجال الأولى" فأنه لا يمكن الإقلال من تأثيراتها كثيراً بزيادة قوة المرسل. ومن الناحية الأخرى، في الأعمال المساحية الخاصة بطريقة (TEM) يقاس المجال الثانوي الناشئ من الموصلات الأرضية في الأوقات التي يختفي فيها المجال الأولى، وعندئذ يهمل التشويش الازدواجي.

وتوفر عملية إنهاء تيار المرسل فجأة وقت مرجعي يمكن استخدامه بطريقة أسهل من النهاية غير الواضحة أو عملية قطع موضع الصفر للموجه المتعرجة، وتنحرف دوائر البلورة المتحكمة في الزمن انحرافاً طفيفاً جداً.

ومن أهم مصادر التشويش في المسح بطريقة (TEM) اختلافات المجال الخارجية الطبيعية والمصطنعة. ويمكن الإقلال من تأثير هذه الاختلافات بزيادة قوة المجال الأولى وبتكرار القياسات عدة مرات حتى الرقم (N) حتى يتحقق التحسن بمقدار $\sqrt{N}$ في النسبة بين الإشارة والتشويش (فقرة ١.٣.٦).

ومع هذا فإن هناك عوائق عملية لهذه الطرق التي تؤدى إلى الإقلال من التشويش. يعتمد العزم المغناطيسي لملف المرسل على قوة التيار وعلى مسافة الملف، ولا يمكن لكليهما أن يزداد بطريقة غير محددة. وتوضع قوة المولد المؤمنة، خصوصاً، قريبة جداً من حدود سعة التيار المستخدم.

وهناك صعوبة كبيرة في استخدام الملفات الكبيرة اللازمة للاختراق العميق، حيث يمكن تحريكها فقط بصعوبة وبطء. والتكرار المتعدد ليس مشكلة في الأعمال المساحية للعمق الضحل، حيث يتم الحصول عملياً على جميع المعلومات المفيدة في الملي ثواني الأولي من منحنى الاضمحلال، ولكن يصبح هذا التكرار المتعدد مضيعة للوقت في الأعمال المساحية العميقة، حيث تمتد القياسات إلى زمن إعاقة قد يصل إلى نصف ثانية.

وزيادة على ذلك، فإنه يجب أن يعدل معدل التكرار (repetition rates) بحيث يتم إلغاء وعدم تجميل خط قوى التشويش(power – line noise)، كما يجب أن يكون عدد مرات التكرار مناسباً لتحقيق هذا الغرض. ويمكن أن تأخذ هذه الإجراءات أكثر من ١٠ دقائق للحصول على بيانات نتائج مرضية في النقطة الواحدة عندما يكون العمق المطلوب أكثر من ١٠٠ متر (وهذا بالطبع، في صالح هذه الطريقة إذا ما قورنت بالزمن اللازم للحصول على بيانات للسبر لنفس العمق من ترتيب "وينر" أو "شلمبرجير" (Wenner or Schlumberger arrays) .

تتحدد درجة الثبات (resolution) في أنظمة "سلينجرام الكهرومغناطيسية للموجه المستمرة" (Slingram CWEM) عن طريق اختيار "المسافة الفاصلة" بين ملفي المرسل والمستقبل. ولأنه يمكن أن تتداخل الملفات في نظام المساحة الكهرومغناطيسية العابرة (TEM) ، فإن "قوة الاعتزام" (resolving power) قد تكون عالية جداً.

وهكذا فإن طريقة (TEM) قد تكون مناسبة جداً بدرجة أكثر من طريقة (CWEM) للمواقع الدقيقة للأجسام الصغيرة جداً. تستخدم معظم أجهزة الكشف المعدنية الحديثة، التي تشمل "أجهزة الكشف المعدنية الفائقة" (super metal detectors) مثل جهاز (Geonics EM-63) الذي يتم تصميمه خصيصاً للكشف عن "الموقع غير المتفجر" (unexploded ordnance, UXO) عند عمق عدة أمتار، مبادئ نظام (TEM).

(٨,٣,٤) الطرق الكهرومغناطيسية العابرة وطرق الاستقطاب الحثي
TEM and IP

تشبه طريقة (TEM) من الناحية الشكلية طريقة "الاستقطاب الحثي ذات المجال الزمني"(time – domain IP) التي تمت مناقشتها في الفصل السابع. ومن أهم الاختلافات الظاهرة بين الطريقتين أن التيار الكهربي في معظم الأعمال المساحية لطريقة (IP) يتم حقنه (بثه) مباشرة في الأرض وليس إحداثه حثياً (induced) عن طريق مجال مغناطيسي. ومع ذلك، فإن طريقة واحدة من طرق (IP) تستخدم عملية الأحداث الحثي (induction) ويبقى الفرق الأساسي في مقياس الزمن.

وعادة ما تؤخذ عينة في نظم (Time – domain IP) بعد زمن إعاقة يتراوح بين ١٠٠ ملي ثانية، وثانيتين، وعلى ذلك يتم تجنب التأثيرات الكهرومغناطيسية. وهناك قدر ضئيل من التداخل (من حوالي ١٠٠ إلى ٢٠٠ ملي ثانية) بين النطاقين، وأنه تم تصميم بعض مجالات التردد أو وحدات صنف لنظام (IP) للعمل في كامل مدى الترددات من (DC) إلى عشرات من الكيلو هيرتز (KHz) وذلك للحصول على طيف من درجة التوصيل (Conductivity spectra).

ومع هذا، فإنه عادة ما يكون هناك احتمال في مجال استكشاف المعادن لاعتبار ظاهرة (EM)، وظاهرة (IP) كظاهرتين منفصلتين تماماً ولتجنب العمل في مناطق أما لها ترددات أو زمن إعاقة حيث أن كليهما له أهمية.

الفصل التاسع

طرق التردد شديد الانخفاض والطرق الكهرومغناطيسية الأخرى
VLF and CSAMT/MT

تستخدم بعض الأجهزة الجيوفيزيائية أجهزة الإرسال التي تستخدم في الاتصالات العسكرية عالية القوة ذات مستوى تردد يصل إلى : (15 – 25 Khz). وأصطلح مهندسو الراديو على تسميتها "بالموجات ذات التردد شديد الانخفاض" (very low frequency, VLF) وهذه الموجات لها ترددات أعلى من تلك المستخدمة في الأعمال الجيوفيزيائية التقليدية، ولكنها تسمح بإجراء الأعمال المساحية الكهرومغناطيسية بدون استخدام أجهزة إرسال محلية (local transmitters).

وتغطي الموجات الكهرومغناطيسية الطبيعية مدى واسعا جداً من الترددات. ويرجع أطوال الموجة الطويلة (ذات الترددات المنخفضة) بصفة عامة إلى "النبضات الدقيقة الأيونوسفيرية" (ionospheric micropulsations)، بينما تتكون معظم الموجات في المدى المسموع بصفة عامة، عن طريق أنشطة العواصف الرعدية البعيدة.

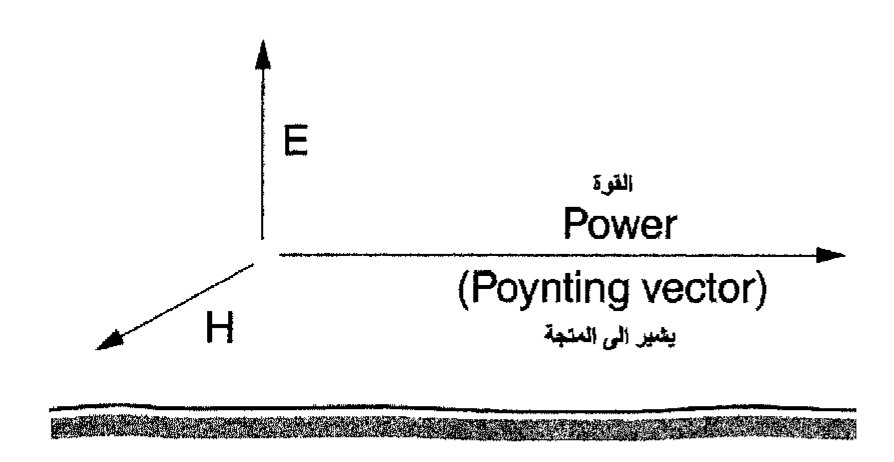
وتشكل الأخيرة (التي تعرف باسم سفريك sferics) الأساس "للطرق المغناطيسية المسموعة المؤثرة" (audiomagnetotelluric methods) المستخدمة في استكشاف المعادن وفي الجس العميق باستخدام طرق المقاومة الكهربية. ولأن "قوى إشارة سفريك"

(sferic signal strengths) تختلف اختلافاً بيناً باختلاف الزمن، فقد تطورات هذه الطرق لتوليد إشارات مشابهه لتلك الموجودة في الطبيعة وذلك باستخدام "مصادر موجهه" (Controlled sources) أو ما يعرف بـ (CSAMT).

وتتيح أجهزة مثل "جيومتريك ستراتاجم" (Geometrics Stratagem) للإشارات الطبيعية والإشارات الموجهة (CSAMT) لكي تستخدم كليهما في نفس الوقت ولكن لأكثر من مدى لمختلف الترددات.

(٩,١) الأشعة ذات التردد شديد الانخفاض
VLF Radiation

تتكون الموجات الكهرومغناطيسية من ازدواج متبادل بين مجالين أحدهما كهربي والآخر مغناطيسي، وهذان المجالان موجهين بحيث يتعامدان على بعضهما وعلى متجه القوة (power vector) الذي يحدد اتجاه الانتشار (الشكل رقم ٩,١).



الشكل رقم (٩,١). شكل تخطيطي يوضح متجهات الموجة الكهرومغناطيسية كما تظهر ملتصقة بجسم موصل. وتمثل (H) المجال المغناطيسي، ويمثل (E) المجال الكهربي وهما في مستويين متعامدين وعموديين على اتجاه القوة أو متجه (poynting) الذي يحدد اتجاه الانتشار.

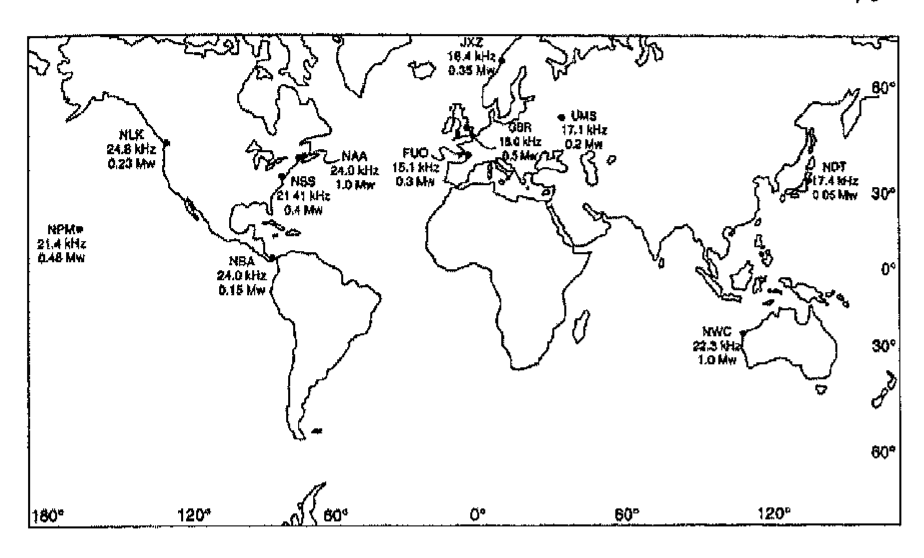
وتعدل متجهات المجال الكهربي نفسها عمودياً على أسطح التوصيل الكهربي المثالية، وعلى ذلك يمكن للموجة أن ترشد عن طريق "الموصلات المحيطة" (enclosing conductors). ويتم التحكم في المدى الذي يمكن أن يحقق ذلك عن طريق ضبط العلاقة بين طول موجة الإشعاع وأبعاد "الموصلات المحيطة" المرشدة. وتنتشر الموجات عند الترددات شديدة الانخفاض (VLF) بصورة مؤثرة جداً لمسافات بعيد في ظل "مرشد موجات" (waveguide) مكون من سطح الأرض و"الأيونوسفير" (ionosphere).

(٩,١,١) انتقال الموجات ذات التردد شديد الانخفاض VLF Transmissions

ليست الأرض أو الأيونوسفير بالموصل المثالي، وقد تتشتت بعض طاقة موجات (VLF) على سطح الأرض أو يضيع بعضها في الفضاء والبعض الآخر يخترق الأرض وهو الذي يستخدم في أغراض الاستكشاف الجيوفيزيائي أو العسكري.

وكما هو الحال فإن هذه الموجات يمكن أن تكتشف وتسجل على عمق عشرات الأمتار تحت سطح البحر وهى مثالية في الاتصالات البحرية تحت سطح البحر. وتقل سعتها وقوتها بطريقة رأسية (exponentially) مع زيادة العمق، وتضمحل موجة المجال الثانوي المتولد تحت سطح "الموصل" بطريقة مشابهه لطريقتها وهي في طريق العودة إلى السطح، وهذا يعني أن الأعمال المساحية باستخدام (VLF) محدودة بعمق القشرة (skin-depth)، (الشكل رقم ٥,٥).

وهناك أكثر من هدف لاستخدام المحطات التي ترسل إشارات (VLF) حول العالم بطريقة مستمرة للأغراض العسكرية (الشكل رقم ٩,٢). وجعل هذه الإشارات "الخاضعة للحمل" (quenched-carrier) صالحة للاستخدام الجيوفيزيائي لهو شيء صعب للغاية. وتختلف أشكال الإرسال وجداول الخدمة اختلافاً بيناً ولكن عارضين أجهزة الـ (VLF) عادة ما يكونوا ملمين بوضع التيار ويوفروا المعلومات على مواقعهم بشبكة المعلومات.



الشكل رقم (٩,٢). خريطة توضح مواقع المحطات التي ترسل إشارات (VLF) حول العالم.

(٩,١,٢) الكشف عن مجالات التردد شديد الانخفاض Detecting VLF Fields

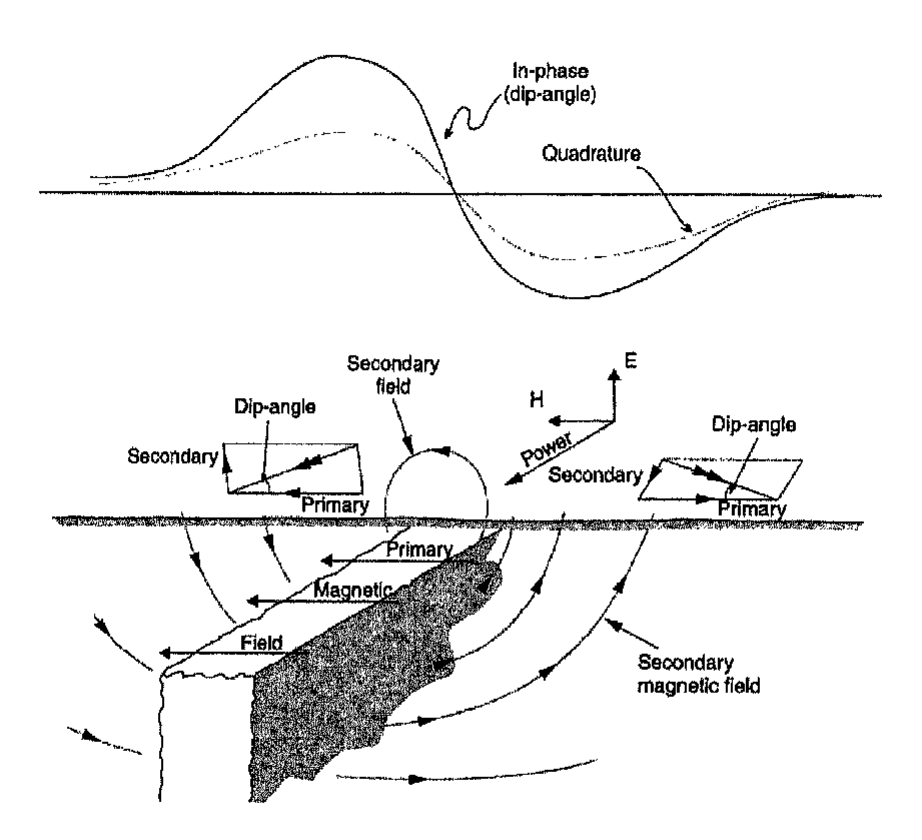
لا يقوم الجيوفيزيائيين من مستخدمي إشارات (VLF) بالتحكم في سعة الإشارة ولا صنفها. وعندئذ تصبح قراءة مركبة مجال الإشارة في الموقع الواحد ليس لها معنى ؛ ولذلك يجب اختيار مركبة واحدة واعتبارها مرجعاً يمكن مقارنة قوى وأصناف باقي المركبات بها. والاختيار الواضح هو المجالات المغناطيسية الأفقية والمجالات الكهربية الرأسية من الإشارات الأولية.

وتكتشف مجالات VLF المغناطيسية بملفات يتناسب فيها عدد اللفات مع مرور التيار و"نفاذية اللب" (core permeability) ومركبة المجال المغناطيسي على طول محور الملف. وسوف لا تكتشف أي إشارة إذا كان المجال المغناطيسي موضوع عمودياً على هذا المحور.

وسوف يحدث المجال الكهربي لموجات (VLF) تياراً حثياً متبادلاً في مساحة تتكون من عمود أو سلك موصل مستقيم. وتتناسب قوة الإشارة بشكل عام مع سعة مركبة المجال الكهربي الموازية للهوائي (aerial) ومع طول الهوائي.

(٩,١,٣) تأثيرات المجال المغناطيسي Magnetic Field Effects

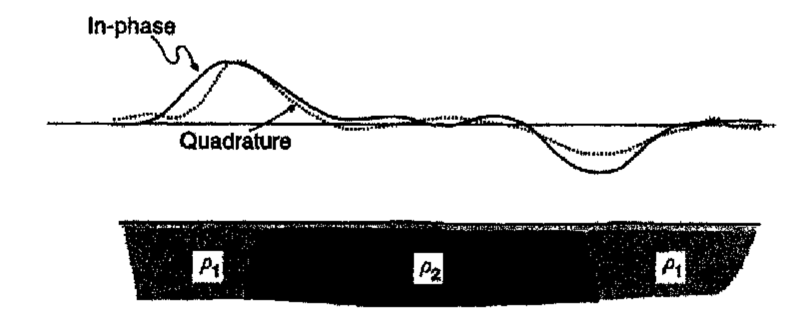
تولد "التيارات الدوامية" (Eddy currents) المستحثة بالمجال المغناطيسي لموجات (VLF) مجالات مغناطيسية ثانوية لها نفس ترددات المجال الأولي ولكن لها عموماً "طور" آخر (different phase). وحسب التعريف تعتبر أي مركبة رأسية مغناطيسية شذوذاً، وتقوم معظم أجهزة الـ (VLF) بمقارنة المجال الرأسي بالمجال الأفقي، إما بطريقة مباشرة أو بقياس زاوية الميل (الشكل رقم ٩,٣).



الشكل رقم (٩,٣). مركبات الشذوذ المغناطيسي لإشارات (VLF) فوق طبقة موصلة رأسية ممتدة في اتجاه المرسل.

ودائماً ما تكون تغيرات الاتجاه في المجالات المغناطيسية الثانوية عكس تلك التغيرات التي في المجال الأولي. ويحتمل أن يكون هذا المجال الثانوي قوياً وهو يعلو مباشرة مستوى مائلاً بشدة لشبه موصل ، ولكنه سيكون أفقياً ولن يتم اكتشافه باستخدام معظم الأنظمة. وفي كلا الجانبين سيكون هناك مجالات رأسية يمكن اكتشافها ، وفي الاتجاه الآخر ، يوجد شذوذ "عكسي للتماثل"(anti-symmetric anomaly).

وتولد أيضاً مستويات التماس المائلة بشدة شذوذ (VLF)، والتي قد تكون موجبه أو سالبة معتمدة على الإشارة المتفق عليها (الشكل رقم ٩,٤). ويمكن أن يبدو الشذوذ "المضاد للتماثل" لموصل رقيق كأنه ناشئ من مستويين قريبين جداً من بعضهما.



الشكل رقم (٩,٤). شذوذ في مجال مغناطيسي (VLF) على حافة موصل ممتد.

وينتج موصلين مائلين بشدة وقريبين من بعضهما محصلة شذوذ مشابه بصفة عامة لمجموع الشذوذ الناشئ من كل منهما على حدى. ومع ذلك فعندما يكون أحد الجسمين مائل بشدة والآخر راقداً منبسطاً فستكون النتيجة أكثر صعوبة في توقعها. ولطبقة الردم الموصلة للكهربية تأثيراً، حيث يمكن عملياً أن تعمل هذه الطبقة على قلب "صنف" المجال الثانوي.

(٩,١,٤) تأثيرات المجال الكهربي Electric Field Effects

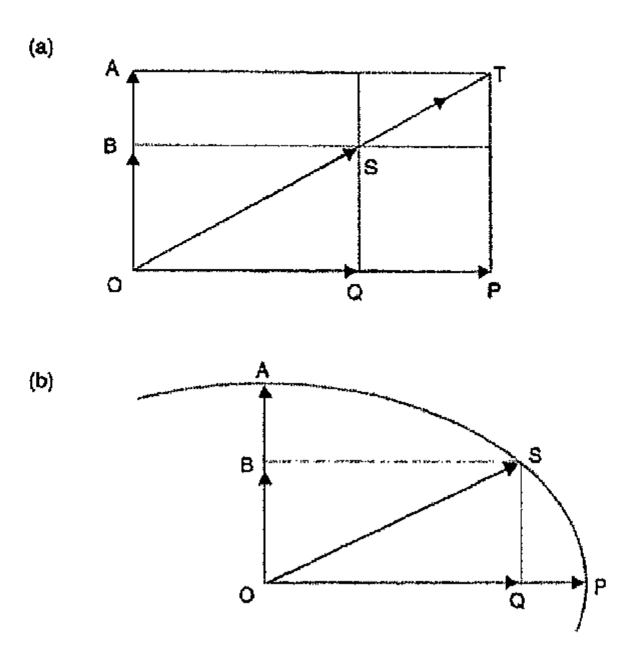
ولأن الأرض ليست موصلاً مثالياً فإن متجهات (VLF) الكهربية تكون مائلة بالقرب من سطح الأرض وليس لها مركبة رأسية ولها مركبة أفقية. ويختلف المجال الأفقي فوق الأرض المتجانسة في "الصنف" عن المجال الأولي (الرأسي) بمقدار ٤٥ درجة، وكذلك يقع هذا المجال في اتجاه الانتشار ويتناسب طردياً مع الجذر التربيعي لمقاومة الأرض.

وتسجل قوة المجال الكهربي الأفقي (أو ميل المجال الكلي) فوق الأرض المتطابقة، متوسط مقاومة (ظاهرية) تميل بقوة في اتجاه مقاومة بمقدار حوالي نصف "عمق القشرة" من السطح. وستزيد "زاوية الطور" (phase angle) عن ٤٥ درجة إذا زادت المقاومة مع العمق في الأرض المتطابقة وأقل من ٤٥ درجة إذا قلت. وتعمل التغيرات الجانبية الحادة للمقاومة على تشويه هذه الصورة البسيطة وتنتج الموصلات الجيدة جداً (عادة ما تكون اصطناعية) مجالات ثانوية تعمل على إلغاء الافتراضات التي على أساسها يتم حساب المقاومة.

(٩,١,٥) الاستقطاب الإهليجي Elliptical Polarization

إذا تم دمج مجالين أفقيين أحدهما "أولي" والآخر "ثانوي" وكانا مختلفين في "الطور" فستكون المحصلة أفقية أيضاً ولكنها مختلفة عن المركبتين في الحجم والطور. وينتج المجال الثانوي الرأسي والمشترك مع المجال الأولي في "الطور" محصلة لها نفس الطور ولكنها منحرفة وحجمها أكبر. وينتج المجال الثانوي الرأسي في "طور تربيعي" (phase quadrature) مع المجال الأولي موجه مستقطبة إهليجية (الشكل رقم ٩,٥).

وما سبق كانت حالات خاصة. وتؤدي إلى الحالة العامة حيث المجال الثانوي مائل وليس له نفس الصنف ولا يتفق "الصنف التربيعي" مع المجال الأولي، إلى إنتاج موجه مائلة إهليجية مستقطبة. ولأن للمجال الثانوي مركبة أفقية، فإن مماس الزاوية المائلة ليس متطابقاً مع نسبة المجال الرأسي الثانوي إلى المجال الأولي.



الشكل رقم (٩,٥). شكل تخطيطي يوضح "الاستقطاب الأهليجي" وعلاقته باتخاذ متجهات المجال المغناطيسي الأفقي والرأسي المتبادل. (a) مجالين أفقي ورأسي: المتجه الرأسي له قيمة عظمى (OA) عندما يكون للمتجه الأفقي قيمة عظمى (OP) والمحصلة لها قيمة عظمى (OT). وفي أي زمن آخر (أي عندما تكون قيمة المجال الرأسي OB، والمجال الأفقي له القيمة OQ، والمحصلة (OS) توجهه على طول OT لكن مع مقدار أقل. والثلاثة يساوي صفر مجمعين في نفس الوقت. (b) الصنف التربيعي: المتجه الرأسي يساوي صفراً عندما يكون للمتجه الأفقي أعلى قيمة له (OP)، وله أعلى قيمة OA عندما يساوي المتجه الأفقي صفر. وفي أي وقت آخر، ممثل بالقيم (OB)، (OQ) و(OS)، ويقع حرف المحصلة على قطع ناقص.

وبسبب "الميل" (tilt) فإن المركبة التربيعية للمجال الرأسي الثانوي لا تحدد طول المحور الصغير للشكل الأهليجي. وهذا يبدو معقداً، ولكن عادة ما يتم استقراء بيانات زاوية الميل في طريقة VLF "بطريقة كيفية" (qualitatively)، ويهمل هذا العامل في

الأحوال العادية، ويعتد به في الاستقراء "الكمي" (quantitive) على أساس دراسات نموذجية سواء كانت فيزيائية أو بالكمبيوتر، ويمكن التعبير عن النتائج لأي كميات مقاسة في الحقل بمصطلحات خاصة.

(٩,١,٦) الازدواج Coupling

تعتمد المركبة المغناطيسية المسئولة عن "الموصل" الجيد بطريقة حرجة ودقيقة على اتجاه هذا "الموصل". وهذا أيضاً حقيقي في الأعمال المساحية الكهرومغناطيسية (EM) التقليدية ولكن مقاطع الـ (EM) عادة تقع على خط عمودي على الاتجاه المحتمل لخط الامتداد الجيولوجي، ضامناً بشكل تلقائي تكوين ازدواج جيد.

في الأعمال المساحية باستخدام (VLF) ليس اتجاه المقطع علاقة بالموضوع بصفة عامة، ولكن العامل المؤثر في الموضوع هو العلاقة بين امتداد جسم الموصل وتوجه محطة الإرسال.

ويقال للجسم الذي يمتد في اتجاه "المرسل" "جيد الازدواج"(well coupled)، حيث إنه يقع في الاتجاه العمودي على "المتجه المغناطيسي"(magnetic vector) ويمكن للتيارات الدوامية أن تمر بطريقة حرة.

وبطريقة أخرى سيكون مرور التيار محدداً، ومخفضاً لقوة المجال الثانوي. وإذا كان الامتداد المحتمل "للجسم الموصل" في منطقة الدراسة متغير أو غير معروف، فإنه يجب استخدام "مستقبلين" (Two transmitters) موضوعين على امتدادين متعامدين وذلك للحصول على خرائط (VLF) منفصلة.

تستخدم خريطة "إسقاط ميركيتور" (Mercator projection) كما في (الشكل رقم ٩,٢) بطريقة محدودة فقط لتعيين الاتجاه الحقيقي لمستقبلات (VLF). ويمكن إيجاد مسارات الدائرة العظمى (Great circle) التي لها كل الأهمية باستخدام برنامج كمبيوتر أو باستخدام كرة وقطعة من خيط.

(٩,٢) أجهزة
VLF Instruments VLF

استخدم أول جهاز جيوفيزيائي (VLF) متاح بطريقة تجارية (Ronka Geonics EM-16) فقط لقياس المجال المغناطيسي، على الرغم من أنه يمكن الآن قياس مجال كهربي أفقي باستخدام جهاز (EM-16R add-on module). ولازال جهاز (EM-16) يستخدم بشكل واسع ويقوم بتوضيح المبادئ الأساسية، التي قد اختفت في أجهزة أخرى التي استخدمت فيها برامج معالجة البيانات بالكمبيوتر.

(٩,٢,١) جهاز الـ EM-16

يتكون جهاز (EM-16) من علبة بها الكترونيات يتصل بها منظار تقليدي لقياس الميل، و"مقبض على شكل حرف T" يحتوى على ملفين موضوعين في وضع متعامد (الشكل رقم ٩.٦).



الشكل رقم (٩,٦). صورة الجهاز (EM – 16) في موضعه العادي للقراءة.

وتشمل أجزاء التحكم على مفتاح لاختيار موقعي المحطتين، وجهاز ضبط رباعي معاير، وعجرة مستديرة (Knob) يمكن عن طريقها تكبير الصوت والنغمة المسموعة، على الرغم من أنها غالباً ما تكون مهتاجة irritating، وهي غالباً ما تكون غير مسموعة في الغابات وفي الأيام العاصفة حيث يتداخل معها مصادر أخرى للضوضاء.

عند وضع جهاز التحكم في الصنف (phase control) في موضع الصفر، فإنه يمكن تحديد قوة النغمة (tone) عن طريق وضع جهاز للتحكم في الصوت (volume control) وعن طريق وضع مركبة المجال المغناطيسي لـ (VLF) موازية للمحور الرئيسي للملف. وتجرى القياسات عن طريق إيجاد توجهات هذا الملف الذي ينتج أقل قراءة (null) (الحد الأدنى). وسوف يكون هذا أسهل إذا وضع جهاز التحكم بحيث تسمع النغمة بالكاد فقط عند وضع الحد الأدنى.

قبل أخذ القراءة يجب تعيين القيمة الدنيا للمركبة الأفقية (اتجاه متجه القوى). وإذا لم نفعل ذلك فسيكون هناك مجال ثانوي له أهميته، وهذا أيضاً يعطي اتجاه توجه المرسل. ويحمل الجهاز بما يحتويه من ملفات في وضع أفقي، وبطريقة تقليدية جداً يوضع في هذا الموضع الملف القصير عمودي على بطن الشخص المشغل (الشكل رقم ٩.٧).

يقوم الشخص المشغل بإدارة الجهاز حتى يجد علامة (null) والتي عندها يكون مستوى المجال المغناطيسي في وضع عمودي على الملف الرئيسي وموازي للملف القصير. وأحياناً يكون من الضروري ضبط جهاز التحكم التربيعي أثناء هذه العملية، حيث يجب وضعه عند الصفر قبل بداية المحاولة للوصول إلى مشاهدة المجال الرأسي. وليست هناك وسيلة للإخبار وليس هناك أهمية لمعرفة إن كان "المرسل" على يسار أو على يمين الشخص المشغل للجهاز.



الشكل رقم (٩,٧). صورة لجهاز (EM – 16) أثناء البحث عن المحطة.

وبدون تغير الموقع، يقوم "الملاحظ" بإدارة الجهاز حول الملف القصير (short coil) كمحور إلى الوضع المستقيم (upright) وعندئذ يميله في مستوى "مقياس الميل" (Clinometer) (الذي يجب أن يكون الآن في مستوى النظر). وتصل الإشارة إلى حدها الأدنى عندما يكون الملف الطويل عمودي على المحور الرئيسي "للشكل الأهليجي للاستقطاب" (polarization ellipse). وسيصعب تحديد علامة الـ(null) إذا كانت "المركبة التربيعية" (quadrature component) (المحور القصير للمجال) كبيرة أو إذا لم يكن مستوى "الشكل الأهليجى للاستقطاب" رأسياً.

ويمكن تحسين القدرة على تحديد هذه العلامة عن طريق استخدام "جهاز التحكم التربيعي" لخصم نسبة الانحراف ضعف محور المجال الرئيسي، الذي يمكن الاستدلال عليه من خلال المحور القصير، من المجال التربيعي الذي يستدل عليه من

خلال الملف الطويل. عند وضع الـ (null) في جهاز محمول في وضع مائل، تعطى القراءة التربيعية النسبة بين محوري "الشكل الأهليجي" ويحدد مماس زاوية الميل شذوذ الصنف الداخلي (in-phase anomaly).

(٩,٢,٢) العلامة التقليدية لجهاز الـــ EM-16 (EM-16 Sign Conventions)

في وضع الـ (null) يشير اليد الطويلة لجهاز (EM-16) إلى المنطقة التي لها أعلى درجة توصيل. ولابد من أن يميل الملاحظ الذي يقف في مواجهة "الموصل" إلى الوراء للحصول على موضع الـ (null) وسوف يرى قراءة موجبة على "مقياس الميل" (Clinometer). وسيكون المشهد في الاتجاه المقابل عبارة عن قراءة سالبة.

ولتجنب الالتباس، فإنه يجب أخذ جميع القراءات في مواجهة نفس الاتجاه كما يجب تسجيل ذلك في "دفتر الحقل"، كما يوصى، إذا تم إقرار المدى القياسي للاتجاهات (مثل: اتجاه الشمال والشرق أكثر استخداماً من اتجاه الجنوب والغرب) في كل الأعمال المساحية.

ويظهر دائماً الشذوذ الرباعي نفس القطبية (polarity) التي يظهرها "الشذوذ الصنفي الداخلي (in-phase anomaly) ولكنها قد تعكس (reversed) عن طريق طبقة الردم الموصلة للكهربية.وقد يرجع السبب في الشذوذ الصنفي الداخلي المقلوب (reversed in-phase anomaly) إلى وجود جسم معزول كهربياً وشديد الميل ومدفون في صخور المنطقة، وهذا شيء نادر الوجود، أو قد يرجع إلى وجود مصادر نشيطة كهربياً مثل خطوط كهربية حية.

(٩,٢,٣) جهاز الـــ EM-16R

مع احتواء جهاز (EM-16R) على أداة داخلية لتغير طبقة الصوت على دوائر كهربية إضافية، ووجود سلك مقوى طوله ٢متر يعمل كهوائي، فإنه يمكن استخدام جهاز (EM-16R) لقياس المجالات الكهربية الأفقية. يتم فرد السلك في اتجاه "المرسل"

ويوجه طرفيه إلى أسفل. ويجب أن يشير الملف الطويل إلى "المرسل"، وللأمان فإنه دائماً ما يوضع الجهاز على الأرض. وعندئذ يكتشف (يتعرف) الملف القصير على مركبة "المجال المغناطيسي الكبرى" (maximum magnetic-field component). ويمكن الحصول على وضع الـ (null) عن طريق إدارة جهاز التحكم (16R)، لإعطاء القراءة المباشرة بوحدة الأوم–متر. ويتم رصد "انحراف الصنف" (phase shift) أيضاً.

تفترض مقاومات (EM-16R)، التي تستخدم المجال المغناطيسي الأفقي كمرجع صنفي، ثبوت النسبة بين المركبة المغناطيسية الأفقية والمركبة الكهربية الرأسية. وستتغير هذه الحالة إذا وجدت مجالات مغناطيسية ثانوية لها اعتبارها، ويفضل استخدام مجال كهربي رأسي أكثر ثبوتاً كمرجع في الأجهزة التي تسمح بذلك الاختيار.

(٤,٢,٩) أجهزة VLF الأخرى Other VLF Instruments

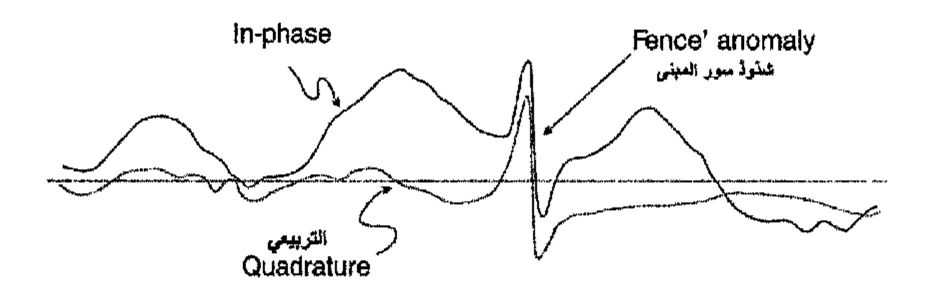
تسجل أيضاً معظم الأجهزة البديلة لجهاز (EM-16) التغيرات في المجال المغناطيسي ولكنها تقيس أيضاً مركبات المجال ونسبها إلى بعضها أكثر من قياسها لزاوية الميل. وتشمل المميزات الرئيسية التسجيل المباشر للبيانات، وغالبا ما تحفظ في الذاكرة بالإضافة إلى ظهورها على الشاشة المخصصة لذلك، وكذلك تتخلص هذه الأجهزة من استخدام النغمة المسموعة.

ويمكن لبعض الأجهزة أن تقيس المجال المغناطيسي بالإضافة إلى قياس مجالين (VLF) لمستقبلين في نفس الوقت، والبعض الآخر يقوم بنفسه بالتوجه الذاتي لزيادة سرعة الأداء والتغطية. ويمكن أيضاً قياس "السعة"، وفي هذه الحالة فإنه يلزم توفير "جهاز أساسي" لتصحيح الاختلافات في السعة التي تنشأ نتيجة للتغيرات الجوية على طول مسارات الإرسال الطويلة المدى. وأحياناً يتم تسجيل اتجاهات المجال المغناطيسي الأفقي ولكنها بصفة عامة أقل حساسية وأقل تميزاً من الاختلافات في زاوية الميل وتحتاج اتجاه مرجعي.

تعتمد أجهزة كثيرة، كما في جهاز (EM-16) على جهاز "تحكم بلوري للنغمات" (Crystal-controlled tuning) للبحث عن المحطة المطلوبة ولكن بعضها الآخر يستخدم "دوائر النغمات عالية الجودة" (high-Q luning circuits). ويمسح جهاز (ABEM Wadi) حزمة موجات (VLF) بكاملها ويقدم للمستخدم رسماً بيانياً لقوة الإشارات مقابل التردد، مما يتيح اختيار معلوم للمحطة.

(٩,٣) تمثيل نتائج VLF بيانياً
Presentation of VLF Results

يمكن أن تكون بيانات زاوية الميل غير ملائمة لإعداد خرائط زاوية الميل والخرائط الكنتورية، التي يستدل فيها على "الموصل" "بدرجة الانحدار" (steep gradients)، والتي فيها يصعب تقديرها بشكل عملي. ينشأ الموصل الاصطناعي الكبير "شذوذاً تقليدي مضادا للتماثل" (classic anti-symmetric anomalies) ولكن غالباً ما يستدل على الموصلات الجيولوجية عن طريق درجة "التدرج" (gradients) (الشكل رقم ٩،٨). وتميل نتائج (VLF) أكثر لأن تكون مشوشة، ومشوه بالكثير من نتوءات الشاذات الصغيرة التي تعزي إلى تواجد الأجسام الموصلة المحلية (التي عادة ما تكون اصطناعية)، وكذلك تواجد التداخلات الكهربية.



الشكل رقم (٩,٨). قطاع نموذجي يمثل نتائج قياسات (VLF) مقاسة بجهاز (EM – 16) لمنطقة بها تشويش جيولوجي عالي، مضاف إليه شذوذ ناتج من سور حماية لمزرعة أرانب.

(٩,٣,١) عملية الترشيح Filtering

يمكن اختزال التشويش والإقلال منه عن طريق إضافة النتائج المسجلة في المحطات المتلاصقة والقريبة من بعضها البعض وتوقيع المجموع الكلي لهذه القراءات على نقطة تقع في موقع وسط بين مجموعة هذه المحطات. وهذا هو أبسط شكل للمرشح منخفض المرور (low-pass filter) ويمكن التخلص من البيانات الخاصة بعدم التماثل الملازم لزاوية الميل عن طريق تفريق القراءات المتقاربة للحصول على متوسط التدرج الأفقي.

وشائعاً ما يستخدم نوعان من المرشحات وهما مصممين للقيام بهذه العمليات (سابقة الذكر) كما يشاهد في (الشكل رقم ٩,٩). يستخدم "مرشح فراسر" (Fraser Filter) أربعة قراءات متعاقبة على أبعاد متساوية من بعضها. تضاف القراءتان الأوليتان إلى بعضها ثم تنصف. ويجرى نفس الشيء بالنسبة للقراءتين الأخريتين ثم يطرح المتوسط الثاني من الأول.

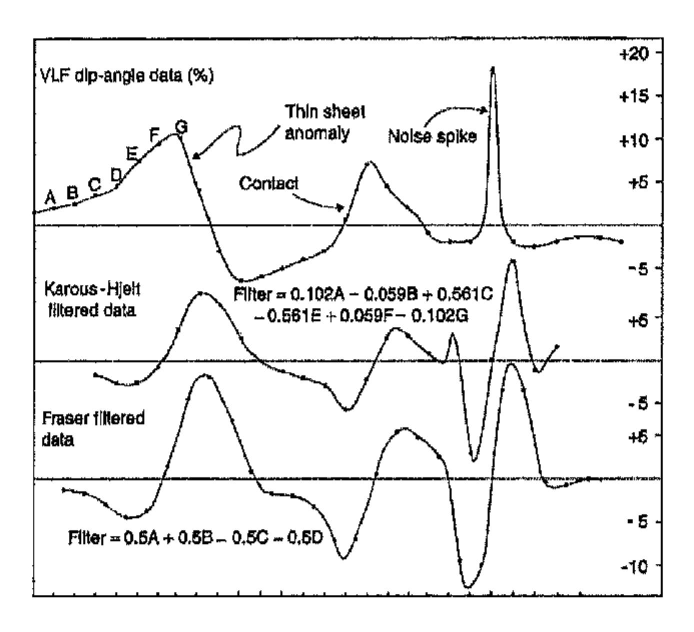
ويستخدم "مرشح كاروس هيلت" (Karous-Hjelt filter;K-H) الأكثر تعقيداً عدد ستة قراءات، ثلاثة على كل جانب للقراءة المركزية التي لا تستخدم في حد ذاتها. ويظهر جهاز (ABEM Wadi) الموضح في (الشكل رقم ٥,١ a) أوتوماتيكياً البيانات المرشحة من مرشح كاروس- هليت (K-H) ما لم يكن هناك أمر مخالف لذلك.

وعادة ما يكون سهلاً استخدام البيانات المرشحة (المفلترة) في إعداد الخرائط الكنتورية، وخصوصاً (وهذا ما يحدث عملياً بشكل عادي) في حالة استخدام "مرشح فراسر" (Fraser filter)، حيث يتم التخلص من القيم السالبة. ويتولد عن جسم الموصل شديد الميل شذوذاً موجباً ويكون ظاهراً بشكل واضحاً.

ومع ذلك، فإن من البديهيات الجيوفيزيائية أن معالجة البيانات تحط من قدرها. ويمكن أن يشوه المرشح بعض الخصائص البسيطة والدقيقة والتي قد تكون ذات مغزى، والأكثر أهمية أن المرشح قد يشوه الشذوذ نفسه وهذا يرجع إلى تواجد مصادر أخرى قد تكون ليست بسيطة كما في الموصل ذو السطح العريض.

فمثلاً، سوف تتحول القمة المعزولة أو القاع المعزول وهما الذين يرجعان إلى الميل الشديد لسطح مشترك بين مواد مختلفة القدرة على التوصيل وذلك عن طريق كل من "مرشح فراسر أو "مرشح (K-H)"، إلى "شذوذ مضاد للتماثل"(anti-symmetric anomaly) (الشكل رقم ٩,٩).

وإذا أهملت القيم السالبة عندئذ، فسيستقرأ هذا الشكل على أنه يدل على "موصل" شديد الميل على بعد قليل من منطقة بها تغير حقيقي في درجة التوصيل الكهربي.



الشكل رقم (٩,٩). قطاعات مقاسة بجهاز (EM - 16) توضح "طبقة رقيقة" و"شذوذ تماسي" و"منقارية تشويش" بعد ترشيحها باستخدام "مرشح فراسر"، ومرشح "كاروس هيلت". وتقوم المرشحات بتحويل طبقة الشذوذ الرقيقة إلى منحنى منقاري لكن تعمل على إعاقة الشذوذ الآخر الذي غالباً ما يكون غير معروف.

ومن ضمن الاقتراحات المذكورة في كتيب جهاز (ABEM Wadi) أنه يمكن استخدام "مرشح K-H"لحساب"كثافة التيار - للقطاعات الكاذبة" (current-density pseudo-sections). ومع ذلك، فلا يمكن استخدام بيانات (VLF) لتعيين أشكال مرور التيار المتزامنة على مختلف الأعماق. وما يمكن توفيره هو شدة التيار الذي يجب أن يمر على عمق واحد مختار لتوليد الشذوذ المعطى. وعندئذ يمكن عرض نتائج الحسابات لعدة أعماق وذلك باستخدام "عارض الكثافة المتغيرة" (variable density display) وعندئذ يمكن تقدير أعماق المصادر بطريقة مبدئية.

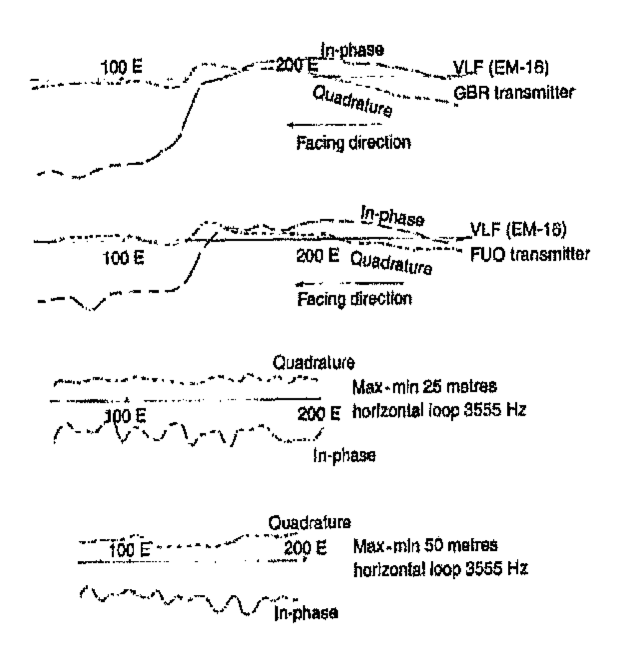
(٩,٣,٢) عرض بيانات Displaying VLF Data VLF

وحيث إن هناك صعوبة في إجراء "عملية الكنترة" (contouring)، وأن هناك اعتراضات جدية لإجراء عملية الترشيح، فإن أفضل عرض عملي لبيانات زاوية ميل VLF هو عرضها على هيئة قطاعات متراصة (stacked profiles). وبذلك يتم عرض جميع البيانات الأصلية الصحيحة التوقيع على الخريطة، ويمكن التركيز على شرائح القطاع التي بها تدرجاً يدل على وجود "موصل" وذلك عن طريق "تسميك الخطوط" (thickened lines).

وحتى يمكن استقراء خريطة، وحتى لو كان استقراء كيفيا، فإنه يجب توضيح الاتجاه الذي يشير إلى المرسل على الخريطة وذلك حتى يمكن تقدير درجة الازدواج. وسوف لا يحدث ازدواج جيد للموصلات الممتدة في اتجاه عمودي على هذا الاتجاه (الاتجاه إلى الموصل) وقد لا ترى هذه الموصلات. ولابد أن توضح الخريطة أي من الاتجاهين المحتملين للقراءة يمكن استخدامه، وإذا لم يتم ذلك فإنه يصعب التمييز بين التدرج "العادي" (normal) الذي تنخفض فيه القيم مقابل الاتجاه، وبين التدرج "المعكوس" (reversed) الذي من المحتمل أن يعزى إلى المصادر النشيطة مثل خطوط الكهرباء والتليفونات.

(٩,٣,٣) مقارنات بين طريقتي VLF/EM (VLF/EM comparisons)

تعمل أنظمة (VLF) باستخدام ترددات عالية نسبياً، حيث تظهر عندها الموصلات بشكل جيد (الشكل رقم ٨,٢) وعادة ما يكتشف باستخدام هذه الأنظمة العديد من حالات الشذوذ بصورة أكثر مما يكتشف باستخدام الأعمال المساحية الخاصة بـ (CWEM) على نفس الموقع (الشكل رقم ٩,١٠).



الشكل رقم (٩,١٠). قطاعات تمثل مقارنة بين طريقتي (VLF) و(EM) فوق نفس الجسم الجيولوجي (في هذه الحالة "نطاق قصي" في صخور الجرانيت). وتعزى التغيرات في الصنف الداخلي على قطاعات EM إلى الخطأ البسيط في المسافة البينية للملف، الذي يصبح مهما عندما تكون المسافة البينية الحقيقية صغيرة. لاحظ أن مصدر الشذوذ القوي (VLF) يمكن كشفه بنظام EM فقط في القناة التربيعية وعندئذ فقط عند مسافة بينية ٥٠ متر وأعلى تردد يؤدي إلى تكوين ازدواج للجهاز.

وهذه الطريقة من أفضل الطرق لإعداد الخرائط الخاصة بالأسطح والتشققات شبه الرأسية. ويمكن أن تكتشف التمعدنات الموصلة، ولكن حجم الشذوذ المصاحب للموصلات الجيدة جداً ليس أزيد من ذلك الشذوذ الناشئ من الأجسام غير المتمعدنة التي ينتشر بها التشققات المملوءة بالمياه، بأحجام كبيرة.

ويمكن أخذ قياسات (VLF) بسرعة وبطريقة مريحة بواسطة شخص واحد، وعلى ذلك فأحياناً تستخدم هذه الطريقة لتقدير الخصائص الكهرومغناطيسية لمنطقة قبل التعرض للصرف المالي على الأعمال المساحية الكهرومغناطيسية التقليدية الذي عادة ما يكون مكلفاً. وهذه الطريقة مفيدة بصفة خاصة في المناطق الآهلة بالسكان حيث من المتوقع زيادة حدوث تشويش من المصادر الكهربية الاصطناعية.

وقد أصبحت الأعمال المساحية باستخدام الـ (VLF) تزداد تطبيقها وشيوعها في الدراسات الهيدروجيولوجية. فمن المعروف أن للأهداف (التي لها علاقة بالتشققات الشديدة الميل الحاملة للمياه في صخور القاعدة؛ basement rocks) أهمية خاصة في بعض مناطق قارة أفريقيا حيث الإشارات العسكرية ضعيفة أو منخفضة الازدواج للموصلات الشائعة. وتعرض الأسواق الآن أجهزة إرسال محمولة خاصة تسمح باستخدام هذه الطريقة في هذه المناطق.

(٩,٤) الإشعاعات الكهرومغناطيسية الطبيعية المسموعة ومصدر التحكم فيها
Natural and Controlled-Source Audio-Magnetotellurics

تتواجد حزمة عريضة من الأشعة الكهرومغناطيسية الطبيعية والتي يمكن أن تستخدم في أعمال المسح الجيوفيزيائي. وتدعم هذه المجالات الإشعاعية الكهرومغناطيسية جزئياً عن طريق تيارات "الأيونوسفير" وجزئياً عن طريق أنشطة "العواصف الرعدية" (sferics). وعادة ما يصطلح على تسمية أكثر الإشارات أهمية والتي يقع ترددها ما بين واحد هيرتز (Hz) إلى حوالي ٢٠ كيلو هيرتز (Khz)، "بالإشعاعات الكهرومغناطيسية" (audio-magnetotelluric, AMT). وهذه الإشعاعات تبث داخل الأرض على هيئة جبهة موجة مستوية تقريباً وموازية لسطح الأرض.

يسمح نطاق التردد العريض لهذه الإشعاعات (AMT) بإجراء الاختبارات لدرجات متنوعة من التوصيل الكهربي فوق مدى واسع من الأعماق المطابقة التي تبدأ من بضع أمتار إلى العديد من الكيلومترات. ومع ذلك، فإن الإشارات، مثل باقي الأشياء التي تأتي مجاناً، دائماً ما تكون عديمة المصداقية.

تسبب التذبذبات القصيرة والطويلة المدى الكثير من المشاكل، ويمكن أن يحتاج الأمر وقتاً طويلاً غير مقبول للحصول على قراءات مقنعة وذلك يرجع إلى انخفاض قوة الإشارات. وتميل الإشارات بصفة خاصة لأن تكون ضعيفة جداً في مدى تردد ما بين ١–٥ كيلوهيرتز وهي صعبة لاستكشاف المائة متر العليا من طبقات الأرض. وأصبحت الآن شائعة لتوليد إشارات مماثلة من مصادر يمكن التحكم فيها (CSAMT)، أو لاستخدام هذا إما لتدعيم أو إحلال الإشارات الطبيعية.

(١, ٤, ٩) مبادئ CSAMT

عادة ما يكون مصدر القوة الكهربية في الأعمال المساحية الخاصة بـ (CSAMT) سلك أرضي طويل (يصل طوله ٢كم أو أكثر) يدفع فيه التيار بترددات تتراوح بين التردد المنخفض (0.1 Hz)، والتردد العالي (100 KHz). ويمكن قياس مجموعة متنوعة من العناصر، ولكن أكثرهم شيوعاً المجال المغناطيسي الأفقي الموازي "للسلك المصدر" (Ex) والمجال المغناطيسي الأفقي العمودي على هذا الاتجاه (Hy).

ويقاس المجال المغناطيسي باستخدام ملف رأسي صغير، بينما يقاس المجال الكهربي باستخدام مجموعة من الأقطاب الثنائية الأرضية القصيرة (ديبول) حيث تصف موازية للمرسل. وعادة ما يختلف المجال المغناطيسي بشرط أن يوضع سلك "المرسل" موازياً للامتداد الإقليمي بشكل بطيء نسبياً، وتجرى الأعمال المساحية الاستطلاعية (CSAMT) باستخدام نتائج القياسات التي تقع بين ٥، ١٠ أقطاب ديبول، بينهم مسافات بينية قصيرة لكل قياس مغناطيسي.

تتناقص قوى كل من المجال المغناطيسي والمجال الكهربي كمقلوب لمكعب المسافة من المرسل وذلك في "المجال البعيد (far-field) الذي يبعد عدة كيلومترات والذي فيه يمكن تطبيق معادلات (AMT) على بيانات (CSAMT). ولا يمكن اجتناب ضعف الإشارات، على الرغم من الفقدان المحتوم لدرجة الوضوح، فليس عملياً استخدام مستقبل ثنائي القطبية (ديبول) طوله أقل من ٢٠متر. وبالرغم من ذلك، فقد يعمل التشويش على زيادة الإشارة عشرة أضعاف أو أكثر، ويستخدم تسجيل الأزمنة الطويلة الذي من خلاله يمكن الحصول على عدد كبير من التسجيلات تسمح بتكوين ثنيات عالية جداً من منحنيات الالتصاق (stacking).

(٩,٤,٢) بيانات CSAMT (CSAMT data)

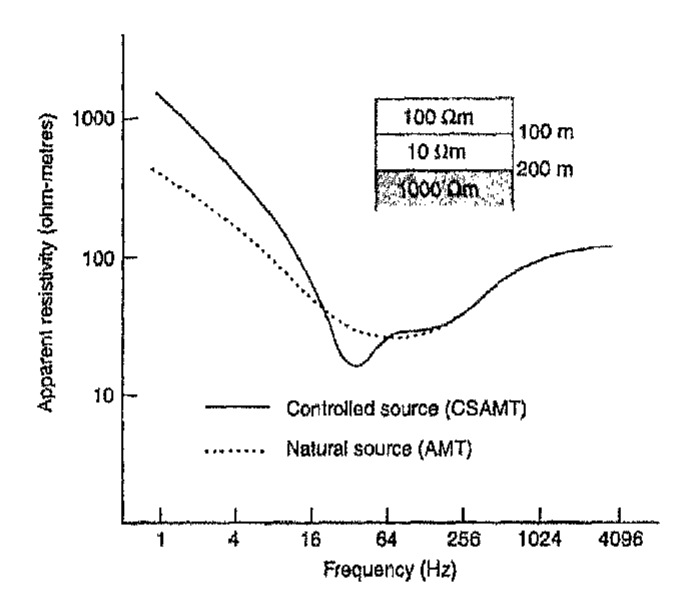
ومن أكثر العناصر المقاسة شيوعاً في الأعمال المساحية الخاصة بـ CSAMT هي نسبة (E_x) إلى(H_y)، و"اختلافات الصنف" (phase differences) بينهم والتي تسمى "أصناف الإعاقة" (the impedance phases). ويستخدم مقدار هذه النسبة في حساب كمية معينة تعرف "بمقاومة كاجنيارد" (caginard resistivity) التي يمكن حسابها عن طريق المعادلة:

$$\rho a = (E_x / H_y)^2 / 5f$$

وغالباً ما تعتبر "مقاومية كاجنيارد" كتقدير لمتوسط المقاومية عند عمق يساوي "عمق القشرة" مقسوماً على $\sqrt{2}$، وهذا يعني أنها تساوي تقريباً $350\sqrt{(\rho_a/f)}$. ويتيح مدى التردد المستعمل في الأعمال المساحية (CSAMT) تقدير هذا المتوسط على أعماق مختلفة تبدأ من أمتار قليلة حتى عمق يصل إلى عدة كيلومترات.

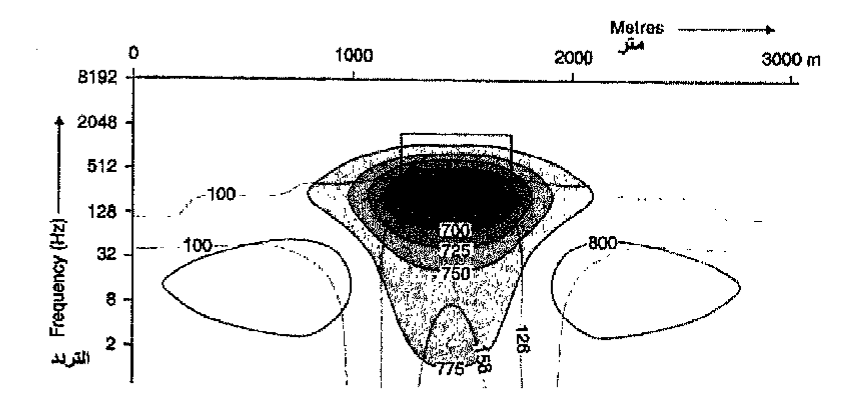
وعادة ما تمثل الرسومات البيانية المعدة في الحقل مقدار مقاومة "كاجنيارد" و"الاختلاف في الصنف" في مقابل التردد. وفي الرسم البياني توضح الاختلافات عند نقطة مفردة عن طريق "منحنى" (الشكل رقم ٩,١١)، ولكنه عادة ما يستعمل في

إعـداد "قطاعات كاذبة" لـمقاطـع الأعـمـال المساحية الخاصة بـ (CSAMT) (انظر الشكل رقم ٩,١٢).



الشكل رقم (٩,١١). قطاع بياني للمقارنة بين نتائج طريقتي (AMT)، (CSAMT) مطبق في قياس طبقات أرضية بسيطة لها مقاومات متنوعة.

ويمكـن تـشغيل برنـامج علـى الكمبيـوتر الشخـصي المتنقـل لتنفيـذ تحويـل بعـد "مقاومـة كاجنيـارد" الواحـد (التطـابق الأفقـي) أو بعـديها إلى مقاومـة حقيقيـة. ولتقـدير المقاومة عند عمق معين، فإنه يجب الحصول على "مقاومـة كاجنيارد" عنـد عمـق يزيـد ثلاث مرات عن ذلك العمق المطلـوب. ومـع ذلـك، فـإن هنـاك حقيقـة تقـول إن العمـق المطلوب دراسته هو نفسه يعتمد عل المقاومة التي تتضمن درجة التداول في الحسابات، كما أن عملية النمذجة تكون غامضة بشكل متأصل.



الشكل رقم (٩,١٢). نتائج (استجابة) تطبيق طريقة (AMT) على جسم مقاومته كبيرة مدفون في وسط ذو مقاومة ضئيلة جداً. ويمثل المحور الرأسي التردد، ويمكن إعداد المنشور بحيث يتطابق مع منحنى الشذوذ عن طريق ضبط مقياس الرسم.

تستخدم "الاختلافات الصنفية" (phase differences) عادة في دراسة المصادر الصغيرة، أكثر من المصادر الطباقية. فمثلاً هناك احتمال لرؤية السطح العلوي والسفلي لمصدر مدفون باستخدام قياسات الصنف، وبالرغم من ذلك فإن المشاهد في الرسومات البيانية المطابقة للمقاومة هو قمة هذا المصدر فقط (الشكل رقم ٩,١٢).

(٩,٤,٣) الإجراءات العملية لطريقة CSAMT (CSAMT Practicalities)

يؤدي استخدام المصادر التي يمكن التحكم فيها إلى التخلص من بعض المشاكل المصاحبة للمجالات الطبيعية ولكنه في ذات الوقت تدخل مشاكل أخرى. وإذا كان الأمر يحتاج إلى مصادر على هيئة سلك طويل لإنتاج إشارات قوية بشكل كاف على مدى كيلومترات بعيدة وهي التي يحتاجها تقريب المجال البعيد، فإنه يلزم استخدام تيارات قوية جداً.

ومن النادر أن توجد مواقع بها أسلاك يصل طولها إلى كيلومترات تحمل الكثير من الأمبيرات (amperes) ويمكن فردها بطريقة آمنة على الأرض. وحتى لو أمكن تحقيق

ذلك فإنه من المحتمل أن تخلق وعورة التضاريس تشويشا واضحاً في الإشارات. ويمكن اعتبار ملفات المصادر المختارة المتلاصقة صغيرة ولكنها تحتاج تيارات أقوى (يمكن أن يكون مقدارها ١٠ مرات) من تلك التي تحتاجها "المصادر الخطية" (line sources).

ومن الشائع اعتبار بداية "المجال البعيد" في أعمال المساحة CSAMT على مسافة تصل إلى ثلاثة أضعاف "عمق القشرة" الذي يمكن حسابه ابتداء من "مصدر السلك الطويل"(long-wire source) وعلى ذلك فإن هذا النظام يعتمد على مقدار "التردد" وطبيعته.

وفي خريطة السبر الانفرادية ، يمكن دائماً تمييز بداية ظروف المجال الوسطية عن طريق التدرج المنحدر بشدة الغير مقبول ظاهرياً في منحنى "السبر" (sounding curve) (الشكل رقم ٩،١١). ويعبر عن القاعدة البسيطة لإبهام اليد التي يمكن أن تستخدم في التخطيط لأعمال مساحية ، بأنه لتأمين ظروف المجال البعيد ، فإنه يجب أن تكون المسافة من "المصدر" إلى "المستقبل" قدرها ستة أضعاف على الأقل قدر العمق المطلوب دراسته.

ومع ذلك ، فإنه يفضل إجراء تعديل للمخطط النهائي في ضوء ظروف المجال الحقيقي. ومن حيث المبدأ ، فإنه يجب استخدام المعدلات المختلفة في استقراء المجال الأوسط المجال القريب ، ولكن عادة ما يتم مراجعة الجودة في الحقل باستخدام (approximations) المجال البعيد فقط.

الفصل العاشر

طريقة رادار الاختراق الأرضي
GROUND PENETRATING RADAR

تستخدم طرق الرادار انعكاس طاقة كهرومغناطيسية قصيرة تبرز فجأة (زقزقة ؛ chirps) تمتد على مدى ترددات من حوالي ٥٠٪ أقل إلى ٥٠٪ أعلى من مركز تردد معين. وهكذا تصبح الإشارة المثالية التي قدرها (100 Mhz) تحتوي على ترددات لها مغزاها تبدأ بـ(50 Mhz) وتصل (150 Mhz) كحد أعلى.

وكان يعتقد في الأصل أن ترددات الرادار التي تتراوح من ألف إلى عدة آلاف Mhz عالية جداً لاستخدامها في اختراق مقيد للأرض، وتعتبر "طريقة رادار الاختراق الأرضي" (ground penetrating radar) (GPR) وسيلة جيوفيزيائية جديدة نسبياً.

وتاريخياً، يستمد تطور جهاز الرادار الأرضي من فكرة استخدام خاصية صدى صوت موجات الراديو لتحديد سمك الجليد، الذي يمكن عن طريق دراسته تحديد ظاهرة البرمافروست (Permafrost) في خطوة واحدة.

وقد أدرك في وقتها أن بعض هذه الموجات قد أخترق طبقات الأرض الأعمق تحت الجليد، وأن هذا العمق، على الرغم من أنه لا يتعدى عشرات الأمتار القليلة، يمكن زيادته بتطبيق نفس التقنية المستخدمة في تجميع بيانات الطريقة السيزمية

الانعكاسية. ويستخدم الرادار الأرضي على نطاق واسع الآن في دراسة الطبقات التحت سطحية في مواقع المدافن الصحية لدفن النفايات الصلبة ومواقع البناء والمواقع الأثرية.

(١٠,١) أسس طريقة الرادار
Radar Fundamentals

(١٠,١,١) الديسبل Decibels

توصف أنظمة الرادار غالباً بأنها عمليات تتضمن تكبيرات وتخفيضات (مكتسبات وخسائر) تقاس بوحدة الديسبل (decibels, dB). فإذا كانت القوة الكهربية الداخلة في النظام تساوي (I) والخارجة منه تساوي (J)، عندئذ تصبح "المكتسبات" تساوي بوحدة الديسبل :

$$10.\ \log_{10} (J/I).\ \ A\ 10\ dB$$

وهكذا يطابق "التكبير" الذي مقداره (10 dB) عشرة أضعاف (tenfold) بينما "التكبير" الذي مقداره (20 dB) يطابق ماثه ضعف (hundred fold) زيادة في قوة الإشارة. وتدل القيمة السالبة على الفقدان (losses). وتتيح الوحدة اللوغرتمية الحصول على تأثير مسار الإشارة وذلك من خلال عدة خطوات عن طريق الإضافة المباشرة "للتكبيرات" (gains) في كل مرحلة.

($\log {}^{2}{}_{10}$) يساوي (0.301) ومضاعفة القوة تكافئ تماماً بالتقريب تكبير (gain) قدره (3 dB). ويشير هذا التقريب الملائم إلى أنه أحياناً يبدو وكأنه يصبح (ظاهرياً وبطريقة اعتباطية تماماً) هو التعريف لوحدة "الديسبل" (decibel). ويتمثل اللبس بصفة عامة في استخدام العامة من المشتغلين وحدة "الديسبل" في قياس المستويات المطلقة للصوت. وهذا يخفي (يحجب) الحالة النادرة للبداية المحددة بمستوى (0 = dB) للقيمة (10^{-12} W m^{-2})، وهو أقل مستوى مقبول يمكن أن تدركه أذن الإنسان. وبالطبع ليس هناك صلة بين أعمال الرادار ووحدة "الديسبل السمعية" (acoustic decibel).

(١٠,١,٢) عناصر الرادار Radar Parameters

تطبق معادلة "اضمحلال الموجه الكهرومغناطيسية (electromagnetic wave attenuation) (فقرة ٥,٣,١) في أعمال الرادار. وعادة ما يكون "للنفاذية الكهربية" (Permittivity, ε) والقدرة على التوصيل (conductivity, σ) أهمية، ولا يمكن استخدام تقريبات التردد المنخفض. وتعرف "النفاذية الكهربية" (Permittivity) أساساً بأنها "الثابت الإلكتروني المزدوج" (dielectric constant) وكانت تعرف من قبل في صيغة نسبة قدرات "المكثفات" (capacitors) المماثلة ذات اللوح المتوازي مع التفريغ أو المواد التي تحت الدراسة والتي تملأ الفراغ بين الألواح.

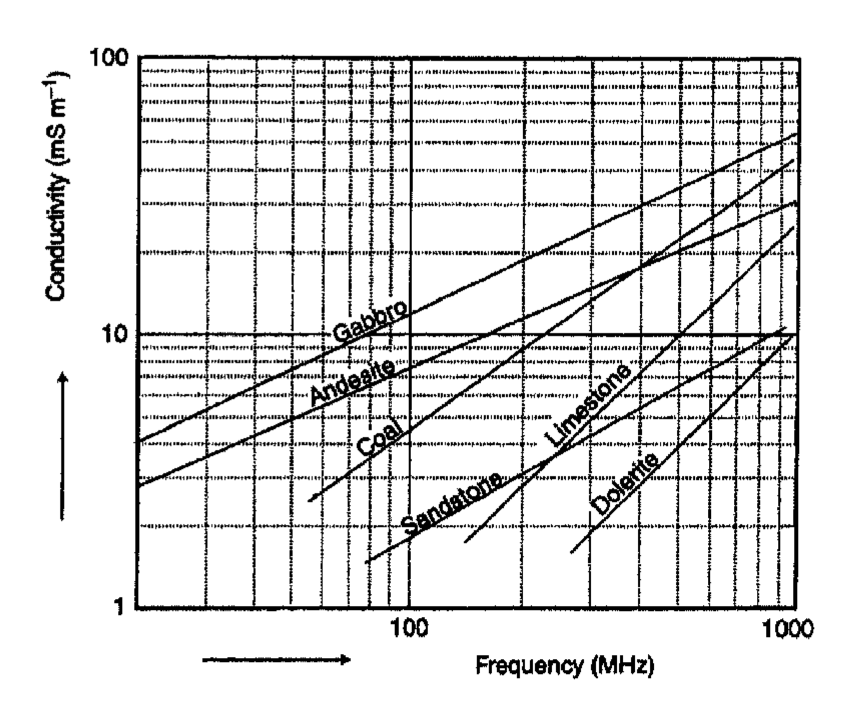
وقد أدت التغيرات في وحدات القياس إلى ضرورة تحديد قيمة (تساوي 8.854×10^{-12} farad m^{-1}) "للنفاذية الكهربية" (permittivity) (ε_0) في الحيز الفارغ، ولكنه من المناسب الاحتفاظ بالرمز (ε) والقيم القديمة، وإعادة تسمية "النفاذية النسبية" (relative permittivities)، على أنها مضاعفات القيمة (ε_0) بدلاً من تحديد قيمة مطلقة لكل مادة. وقيمة (ε) قريبة من الواحد الصحيح لمعظم المواد الشائعة، وتغلب قيمة "النفاذية النسبية" للصخور والتربة بالقيمة "εللمياه" (ε_{water})، التي تصل إلى حوالي ٨٠.

وتؤثر "النفاذية المغناطيسية النسبية" (magnetic permeability, μ) في البث الراداري ولكن "النفاذية النسبية" لمعظم المواد التي تتواجد أثناء الأعمال المساحية باستخدام (GPR) تقترب جداً من الواحد الصحيح، وتقترب النفاذية المطلقة من قيمة "الحيز الفارغ" (free space) ($\mu_0 = 4\pi . 10^{-7}$).

وتساوي سرعة الموجه الكهرومغناطيسية في "عازل كهربي"(insulator) القيمة $C/\sqrt{(\varepsilon\mu)}$ حيث (C) هي سرعة الضوء في الفراغ. وهناك تعقيدات إضافية في الأوساط الموصلة للكهرباء. ويمكن وصف هذا بمصطلح "النفاذية المركبة" (Complex permittivity) ($K = \varepsilon + J\sigma/\omega$)، "ومماس الفقد" (loss tangent) ويساوي ($\tan \alpha = \sigma/\omega\varepsilon$)،

حيث ω التي تساوي (2πf) هي "زاوية التردد" (angular frequency). وتتضمن "مماسات الفقد" (loss tangents) العريضة إشارات عالية للاضمحلال (high signal attenuation).

ويعرض الجدول رقم(١٠,١) القيم النموذجية لعناصر الرادار لبعض المواد الشائعة. والملاحظ أن السرعات تقل كثيراً عن (0.30 mns^{-1}) (ومعناها 300 000 Kms^{-1}) سرعة الضوء في الفراغ. وتختلف درجة التوصيل الكهربي في ترددات الرادار، أحياناً بشكل كبير، عن قيم تيار (DC)، وغالباً ما تزيد مع التردد بمعدل تقريبي على شكل علاقة خطية لوغرتمية (الشكل رقم ١٠,١).



الشكل رقم (١٠,١). رسم بياني يمثل معدلات التغير في درجة التوصيل مع التردد لبعض أنواع الصخور الشائعة مع تردداتها الرادارية.

ويكافئ طول الموجة الرادارية في مادة ما سرعة الموجة الرادارية مقسومة على التردد، بمعنى: C/f √ ε إذا أمكن أخذ (μ) على أنها الوحدة ويجب أن تجرى الحسابات بطريقة مباشرة ولكن ولأن سرعة GPR تعطى بالوحدة (mns^{-1}) والترددات بالوحدة (Mhz) (الجدول رقم ١٠,١)، وأنه من السهل فقد بعض القوى للعشر ما لم تكون رتبه الحجم لها قدرها.

وطول موجة الإشارة التي قيمتها (100 Mhz) في الهواء ٣ أمتار، وفي الصخر الذي تصل فيه سرعة الـ GPR القيمة ($0.1\ mns^{-1}$) يكون طول الموجه ١٠سم، وفي المياه المالحة، حيث تصل السرعة ($0.01\ mns^{-1}$) يكون طول الموجه ١سم فقط.

الجدول رقم(١٠,١). القيم النموذجية لعناصر الرادار لبعض المواد الشائعة.

المادة	ε	σ mS/m	V m/ns	α dB/m
الهواء	1	0	0.30	0
الجليد	3-4	0.01	0.16	0.01
المياه العذبة	80	0.05	0.033	0.1
المياه المالحة	80	3000	0.01	1000
الرمل الجاف	3-5	0.01	0.15	0.01
الرمل الرطب	20-30	0.01-1	0.06	0.03-0.3
الطفلة – والطين	5-20	1-1000	0.08	1-100
الغرين	5-30	1-100	0.07	1-100
الحجر الجيري	4-8	0.5-20	0.12	0. 4-1
الجرانيت	4-6	0.01-1	0.13	0.01-1
الملح (الجاف)	5-6	0.01-1	0.13	0.01-1

(١٠,١,٣) انعكاس نبضات الرادار Reflection of Radar Pulses

تقيد وتتأثر النسبة المئوية لطاقة الرادار الساقطة والمنعكسة على سطح ما بكل من "حجم الهدف" و"معامل اتساع الانعكاس" (amplitude reflection coefficient) الذي يعطي للسقوط العادي على سطح لا نهائي بالمعادلة :

$$RC = (\sqrt{K_1} - \sqrt{K_2}) / (\sqrt{K_1} + \sqrt{K_2})$$

حيث K_2، K_1 قيم "المنفذية المركبة" لكل من مادة "الهدف" (target) ومادة "الصخور المحيطة" (host) على الترتيب.

ويستخدم أحياناً أيضاً "معامل قوة الانعكاس" (power reflection coefficient)، $(RC)^2$ ولكنه يحجب الحقيقة بأن هناك تغيراً صنفياً ١٨٠ درجة على الانعكاس من السطح الفاصل الذي تزيد عنده النفاذية الكهربية (وعندئذ تقل عنده السرعة). ويتم تعين "سعة الانعكاس" من معظم المواد الجيولوجية جميعها تقريباً عن طريق التغيرات في المحتوى المائي ولكن يسود مصطلح "درجة التوصيل" في المواد الفلزية.

وتتوقف "قوة الانعكاس" على مساحة سطح الجسم العاكس وطبيعته. ويأتي أقوى انعكاس من الأسطح الملساء حيث ينشأ "الانعكاس المتضارب" (specular reflection) الذي تتساوى فيه كل من زاوية السقوط وزاوية الانعكاس. تعمل الأسطح الخشنة على تشتيت الطاقة، وتقلل اتساع الانعكاس، وتنتج الأجسام الصغيرة انعكاسات ضعيفة فقط. ولكي تنجح الأعمال المساحية (GPR) بصفة عامة فإنها تحتاج إلى انعكاس قدره ١٪ من الموجة الساقطة (بما يعنى أن $(RC > 0.01)$)، وتحتاج أيضاً إلى أن لا يقل القطر الأصغر "للهدف" عن عشر عمقه.

(١٠,١,٤) معادلة مدى الرادار The Radar Range Equation

ربما يكون التوقع بنتائج المسح الراداري الأرضي مهماً جداً ولكنه يعد أكثر صعوبة منه في أي طرق جيوفيزيقية أخرى. ويمكن تقسيم تكليف أداء الأعمال إلى جزئين أحدهما يتعلق بأداء الأجهزة والآخر يعتمد على طبيعة موقع الدراسة

والظروف المحيطة به. ويتوقف الإنجاز على النسبة بين قوة الإشارة الناشئة من "المرسل" والحد الأدنى للإشارة القابلة للحل عن طريق "المستقبل".

وتعتبر الإشارة المفقودة أثناء الإرسال خلال طبقات الأرض عاملاً في غاية الأهمية، ولكن الفقد في الرابطة بين المرسل والمستقبل وبين الهوائيات الخاصة بهم والذي يرجع إلى الخصائص الاتجاهية لهذه الهوائيات، له أهمية أيضاً.

ويؤخذ هذا في الاعتبار بصورة منفصلة لأن هذه الاعتبارات تعتمد على الترددات وعلى الهوائيات المستخدمة والتي يمكن تغيرها في الحقيقة من بين جميع وحدات الـ (GPR). وإذا كان مجموع كل "عوامل الأجهزة" (instrumental factors)، مقاسة بوحدة (dB)، تساوي (F) فإن "معادلة مدى الرادار"(radar range equation) يمكن أن تكتب على الوجه التالي:

$$F = -10 . \log_{10} [A\lambda^2 e^{-4\alpha r} / 16 \pi^2 r^4]$$

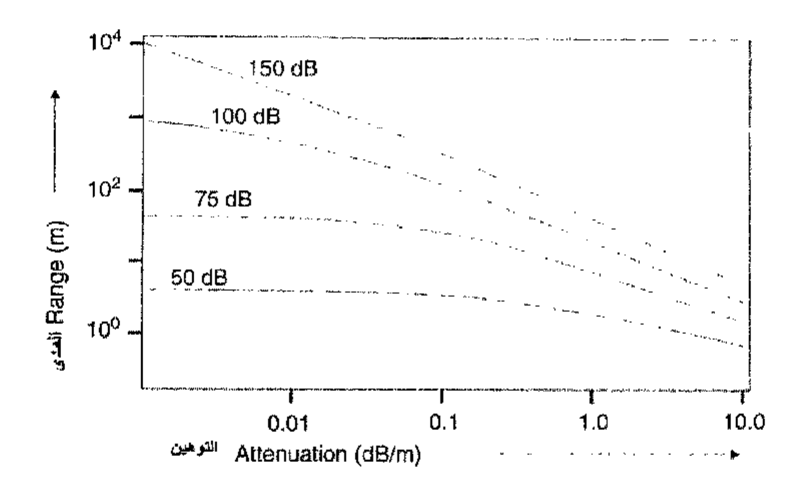
حيث(λ) هي طول الموجة الرادارية، (α) هي "ثابت الاضمحلال" (attenuation constant)، (A) هي "عامل الشكل" (shape factor) مع أبعاد المساحة التي تميز الهدف، (r) هو "المدى" (range) والذي يمثل النهاية العظمى النظرية للعمق والذي عنده يمكن اكتشاف الهدف. ويستخرج غالباً العامل $\text{Log}_{10} [\lambda^2 / 4\pi]$ من هذه المعادلة ويدخل في منظومة العناصر. وإذا تم عمل ذلك فإن الكمية المحصورة بين القوسين المعكوسين تمثل الأبعاد ويجب أخذ الاحتياطات عند اختيار الوحدات.

و"للانعكاس المتضارب" (Specular reflection) من سطح ناعم وسطح خشن يصبح "عامل الشكل" يساوي $\pi r^2 (RC)^2$ و $\pi\lambda\, r\, (RC)^2$ على التوالي، و"معادلة المدى" تختزل إلى:

$$F = -10 . \log_{10} [(RC)^2 \lambda^2 e^{-4\alpha r} / 16 \pi r^2]$$

$$\text{And} \qquad F = -10 . \log_{10} [(RC)^2 \lambda^3 e^{-4\alpha r} / 32 \pi r^3]$$

ولا يمكن لأي معادلة أن تحل مباشرة للحصول على "المدى" (range)، الذي يظهر في كل من الأس، والمقسوم عليه. ويمكن للكمبيوتر أن يحصل على حل رقمي للمعادلة ولكن الأشكال البيانية تعطي طريقة عملية للتعامل مع المشكلة (الشكل رقم ١٠،٢). أحيانا تطبق القاعدة المبدئية عندما تعرف درجة التوصيل ودرجة الاضمحلال حيث يمكن أحياناً أن يكون الحد الأعلى للعمق المطلوب دراسته أقل نسبياً من ٣٠ مقسومة على "درجة الاضمحلال" أو أقل من ٣٥ مقسومة على "درجة التوصيل".



الشكل رقم (١٠،٢). شكل بياني نموذجي يمثل العلاقة بين المتوسط الراداري، وثابت الاضمحلال لمختلف القيم الثابتة لنظام الاكتساب والانتشار من جهة ومعدل فقد الاضمحلال.

(١٠،٢) الأعمال المساحية

GPR Surveys

(١٠،٢،١) إعداد الأجهزة Instrumentation

يتكون نظام (GPR) من وحدة تحكم ووحدة تسجيل (CRU) متصلة بوحدات "مستقبل" و"مرسل"، يتصل كل منهما بدوره "بهوائي" (antenna) (الشكل رقم ١٠،٣).

والأسلاك المعدنية غير ملائمة لتوصيل التيار المتردد في حالة ترددات الرادار، حيث تقوم "الألياف الضوئية" (optical fibres) عادة بنقل الإشارات من وإلى الـ (CRU) بدلاً من تلك الأسلاك.



الشكل رقم (٣,١٠). صورة توضح وحدات جهاز الرادار الأرضي أثناء استخدامه في الحقل.

وهذه الألياف لها مميزات عظيمة في الممانعة والحماية من التداخلات الكهربية، ولكنها أكثر هشاشة من الأسلاك وأقل منها قابلية للإصلاح عند تلفها. ولسوء الحظ، فإن كثيراً من الأسلاك الليفية المتوافرة في السوق بصورة تجارية مصنوعة من ألياف ضوئية مغطاة بطبقة حماية أنبوبية ذات لون أسود مما يجعلها عندما تلقى على الأرض غير واضحة ويصعب تمييزها مما يعرضها للتلف. ولذلك يلزم أخذ العديد من قطع الغيار أثناء الأعمال الحقلية الخاصة بـ (GPR).

تحدد الوضعية على الـ(CRU) تردد الرادار، وتحدد "الفترة الزمنية" (النافذة، window) التي يتم خلالها تسجيل البيانات والعديد من المسارات الفردية لكي يتم

إلصاقها معاً. ويمكن أن تكون القيم المثالية للترددات المركزية المتوفرة كما يلي: ٢٥، ٥٠، ١٠٠، ٢٠٠ Mhz.

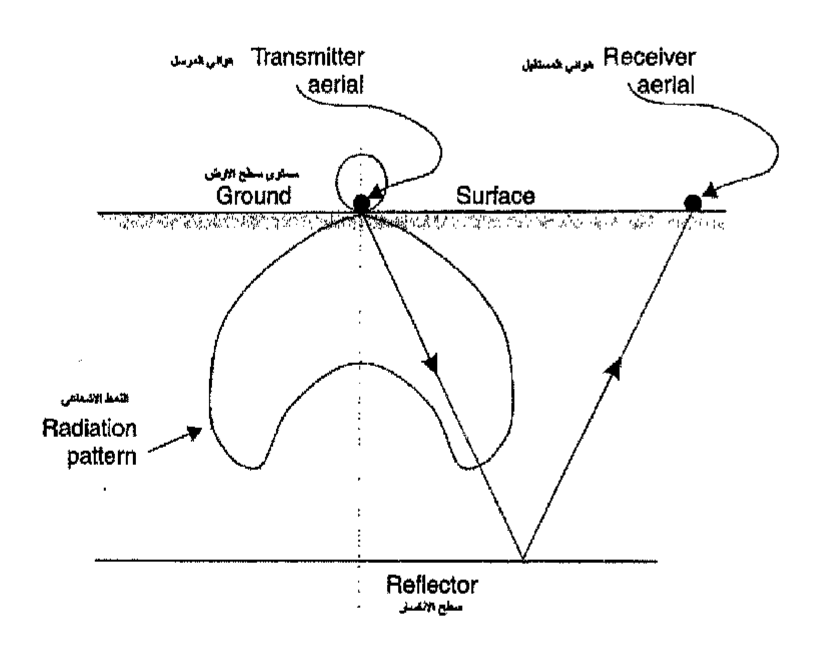
ويمكن إجراء التسجيلات خلال الزمن الزائد عن زمن النافذة بين ٣٢ و٢٠٤٨ (ns) ويمكن أن تصل عدد المسارات المنفصلة ٢٠٤٨ وهي التي يمكن تلاصقها. وتكافئ أجهزة (CRUs) الحديثة أجهزة الكمبيوتر الشخصي ذات الكفاءة العالية، ويمكن إجراء العديد من عمليات معالجة الإشارات في الحقل. ويمكن في بعض الأنظمة إنجاز وظائف الـ (CRU) عن طريق كمبيوتر شخصي محمول مزود ببرنامج مناسب. وعلى الرغم من أن هذه ميزات واضحة إلا أن القليل من الكمبيوترات التي لها القدرة على القيام بذلك في الأجواء المطيرة.

ويمكن أن تكون هوائية المستقبل منفصلة عن هوائية المرسل أو يمكن أن تكون مدمجة في وحدة مفردة. والقابلية لانفصال الهوائيات مطلوبة حتى وإن كان يجب الحفاظ على المسافة بينهما ثابتة وذلك يرجع إلى اعتماد تلك المسافة بقيمتها المثالية على البيئة المحيطة وعلى عمق الهدف، وكذلك على التردد، وعلى حجم المرسل. ومع ذلك، فإن الوحدة المفردة لكل من الهوائيتان لها ميزاتها أيضاً، حيث تسمح هذه الوحدة بالقياس المستمر بهذه الهوائية المفردة التي يمكن جرها في الخلف على الأرض باستخدام أداة نقل بطيئة التحرك.

من الناحية الفيزيائية تشبه الهوائية (antennae) "ألواح قصيرة" (short planks) (وهي غالية الثمن). وتقل حجم ووزن هذه الألواح مع زيادة التردد، مثلاً: من ٣,٥ متر طول ووزن ٤كجم وتردد ٢٥ (Mhz) إلى أقل من ½ متر ووزن ١كجم وتردد ٢٠٠ (Mhz) (pluse EKKO IV).

وأغلب هذه الوحدات عبارة عن "ثنائي القطبية" (dipoles) بسيط، على الرغم من أنه يستخدم أيضاً "ثنائي القطبية" (ديبول) مثلثي أو "رابطة قوسية محملة" (loaded bow-tie). تسير الأشعة من "ديبول" في الفراغ على شكل اسطوانة متماثلة لها كثافة

منعدمة (zero) خلال محور الديبول. يتغير هذا الشكل البسيط، أحياناً بطريقة متطرفة، بالوسط المحيط. تعتمد الزاوية مع السطح الذي تتواجد عنده النهاية العظمى للطاقة على المنفذية الأرضية ودرجة التوصيل الكهربي (الشكل رقم ١٠,٤).

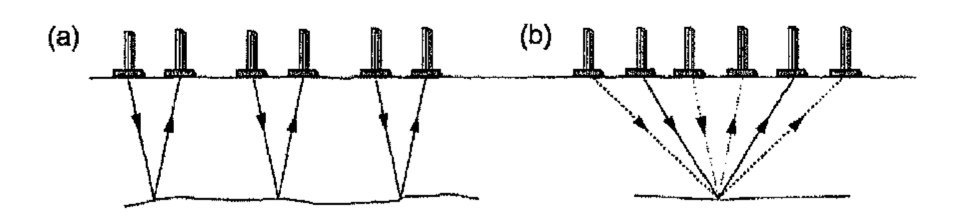


الشكل رقم (١٠,٤). شكل إشعاعي ناتج من ديبول مساحي على سطح أرض متوسطة التوصيل والنفاذية النسبية. وتتواجد المسافة البينية المناسبة بين الهوائيات الرادارية عندما يصل الشعاع خلال قمة الإشعاع منتصف مسافة سطح الهدف بين الهوائيات.

(١٠,٢,٢) أنواع الأعمال المساحية Survey Types

تستخدم معظم (GPR) "هوائية" ذات مسافة بينية ثابتة؛ هذه تستخدم في إعداد "القطاعات التعويضية العادية"(common-offset profiling). (الشكل رقم ١٠,٥ a). والبديل هو تغيير المسافة بين الهوائيين من نقطة ثابتة متوسطة وذلك للحصول على

مضاعفات النقطة المتوسطة (CMP) (الشكل رقم ١٠،٥ b). وللأعمال المساحية ميزة في إتاحة فرصة حساب السرعات من المتغيرات في الزمن المنعكس في الأعمال المساحية التعويضية (فقرة ١٢،١،٢) ولكنه بطيء جداً وعلى ذلك فهو شحيح ، في أعمال GPR. وهذه الأعمال روتينية في المساحة السيزمية الانعكاسية ، حيث يمكن توفير عدد كبير من الكواشف الرخيصة الثمن والتي تعرف "بالجيوفونات" (geophones).



الشكل رقم (١٠،٥). (a) شكل لقطاع تعويضي ثابت. (b) شكل لقطاع ناشئ من نقطة متوسطة للبحث العادي.

(١٠،٢،٣) اختيار عناصر الأعمال المساحية Selecting Survey Parameters

يمكن أن تختلف وتتنوع جميع عناصر الأعمال المساحية إلى حد ما في معظم أعمال GPR ، وتتمثل هذه العناصر في : التردد ، والمسافة البينية بين الهوائيين والمسافة البينية بين المحطات وطول التسجيل ، وأخذ عينات من الترددات. ومن أهم المتغيرات الانفرادية هو التردد ، حيث يؤثر التردد تأثيراً كبيراً في قيم الكثير من العناصر الأخرى. وإذا تم قياس (d) ، وهي درجة الرؤيا المرغوب فيها ، بالمتر ، فإن التقدير الأولي للتردد المناسب (F) والمقاس بوحدة (Mhz) يعطى من المعادلة التالية :

$$F = 150 / d \sqrt{\varepsilon}$$

ومن فوائد الطريقة المجربة أنها مثبته بالتجربة وأنه لكي تساوي "درجة الثبوت المكاني" (spatial resolution) ٢٥٪ من عمق الهدف ، فإنه يجب أن يساوي العمق

والتردد الناتج حوالي ٥٠٠. ويمكن بل عادة ما ينشأ خلاف بين ضبط درجة الثبوت والاستقرار مع متطلبات الاختراق الراداري ولذلك فإنه يجب على مشغل الأجهزة أن يكون على دراية بالمدى الذي يميز الأجهزة المستخدمة، ويمكن عن طريق تحقيق التوازن والتكافؤ بالمعالجة إنهاء المقايضة بين عمق الاختراق ودرجة الثبات.

وتتأثر درجة الثبات بالمسافات البينية بين المحطات. ولا يمكن تعريف "الهدف" تعريفاً حقيقياً إذا كانت المسافة البينية بين المحطات المتجاورة في "القطاعات التعويضية" (offset profile) أكثر من ربع طول الموجة في الأرض أي إنها تساوى تقريباً $75/f\sqrt{\varepsilon}$.

وفي أغلب الأحيان يوضع "المرسل الديبولي" (Dipolar transmitter) و"هوائيات المستقبل" بجوار بعضهما البعض، ولكن تستخدم أيضاً أشكال النهاية وحتى أشكال الجانب البارز العريض. ويجب توجيه "الهوائية" (antennae) بحيث تكون متوازية مع اتجاه امتداد الهدف كلما كان ذلك معروفاً.

وبطريقة نموذجية، يجب أن تلتقي الخطوط المرسومة من هوائيات المرسل والمستقبل عند زاوية أكبر قوة إشعاع عند "عمق الهدف" (الشكل رقم ١٠,٤). وعادة ما تعطي المسافة البينية التي تساوى خمس هذا العمق نتائج جيدة ولكن غالباً ما تستخدم المسافات الأصغر من ذلك لتحقيق راحة أكثر في التشغيل.

ويتم تسجيل إشارات الرادار بطريقة رقمية ويجب أن تأخذ عينات بطريقة كافية غالباً للتأكد من التعرف الكامل على أشكال الموجة. وإذا كان هناك أقل من المألوف عينتين في كل دورة موجية، فإنه يتكون شكل من أشكال "التشويه" (distortion) يعرف باسم "الشكل المستعار" (aliasing). يصل أقصى تردد متواجد في إشارات الرادار (GPR) إلى ضعف التردد المركزي العادي، حتى أنه يجب أن يكون معدل أخذ العينات أربعة أضعاف التردد المركزي على الأقل. وعادة ما يضاف "معامل الأمان" ومقداره اثنين معطياً تردد العينات بمقدار (800 Mhz) لإشارة مقدارها (100 Mhz) ولفترات بينية للعينات مقدارها (1.25 ns).

(١٠,٢,٤) النقل Mobility

أصبح الـ (GPR) الآن أخف وزناً ويمكن حمله بسهولة. يصل وزن وحدات التحكم والمرسل والمستقبل إلى عدة كيلوجرامات شاملة البطاريات، ووزن أسلاك الألياف الضوئية خفيف (على الرغم من هشاشتها). ويمكن تحقيق استمرارية التغطية الكاملة إذا تم تثبيت الهوائية (antennae) في أداه متحركة (مزلجة) تسحب خلف الجهاز، وتزود وحدة (CRU) "بقداحة" (trigger) ومقياس "اودوميتر" (odometer) لتوفير قراءة متجانسة مستمرة كل فترة معينة.

وفي المناطق التي يصعب فيها توفير أداه متحركة أو يكون من المستحيل توفيرها أو ببساطة يكون توفير تلك الأداة غير مريح وغير ملائم، في هذه الحالة يثبت كل من المرسل والمستقبل في إطار يخصص أيضاً لإلحاق وتثبيت "الهوائية" (antennae)، وبذلك يمكن التحرك بهذه المجموعة بشخص واحد في الحقل، كما يبدو ذلك في (الشكل رقم ١٠,٣). ولهذا النوع من العمل تكون أكثر "الملحقات" (accessory) إفادة هي الملحقات الحقيقية ويمكن نقل عربة يد بلاستيكية مناسبة لكل المناطق (حيث يستخدم فيها الكرة أكثر من العجلة كأداة جر)، وتوضع فيها وحدة (CRU)، والبطاريات وأي أشياء أخرى ضرورية.

(١٠,٢,٥) التداخلات في الأعمال المساحية الرادارية GPR

Interference in GPR Surveys

يمكن أن تقف المشاكل البيئية عائقاً دون تحقيق النجاح في الأعمال المساحية الرادارية (GPR) حتى وإن كان عمق الاختراق، ودرجة الانعكاس، ودرجة الثبات تبدو مرضية. وتعتبر أجهزة إرسال الراديو من المصادر المؤثرة التي تؤدي إلى "التداخلات" (interference) مع أجهزة الرادار ويمكن لإشارات راديو قوية أن تربك أجهزة الاستقبال الإلكترونية.

وأصبحت التليفونات المحمولة (الجوال، Mobile) الآن تسبب نوع من التداخل مع الرادار الأرضي (وهناك تحركات ومحاولات من شركات التليفون المحمول لتحديد أنشطة الرادار الأرضي، بسبب تداخل الترددات العالية للرادار مع الترددات التي ترغب هذه الشركات في استخدامها). ويمكن أن يسبب تواجد جسم معدني كارثة أيضاً إذا كان هذا الجسم ليس هدفاً للدراسة.

ويمكن أن تأتي الانعكاسات من "أغراض" (objects) جانبية بعيدة (على هيئة ضربات عرضية جانبية Side swipe) ومن المحتمل أن تكون قوية إذا اشتركت معها انعكاسات معدنية. ويمكن أن تولد الأجسام المتواجدة على سطح الأرض انعكاسات جانبية منطلقة بقوة، حيث يرجع هذا لوجود إشعاعات من الطاقة خلال السطح الفاصل بين الأرض والهواء الجوي وذلك في حالة ارتفاع درجة التوصيل الكهربي لسطح الأرض.

(١٠,٣) معالجة البيانات
Data Processing

تسجل بيانات أجهزة الرادار (GPR) رقمياً وتحتاج معالجة مكثفة. أدى اختزال في حجم الكمبيوترات الصغيرة وزيادة قدرتها إلى إمكانية إجراء المعالجة في الحقل، وأحياناً يمكن إجراء هذه المعالجات باستخدام وحدات التسجيل نفسها.

(١٠,٣,١) تقنيات المعالجة Processing Techniques

تتيح معدلات الإعادة والتكرار العالية المحتملة مع أنظمة الرادار لتسجيل عدد كبير من الإشارات في كل نقلة جديدة لكل من المرسل والمستقبل، وأيضاً تتيح هذه المعدلات إجراء عملية جمع الإشارات بغرض الإقلال من تأثيرات التشويش العشوائي. والتصميم الخاص بما يجب أن يكون عليه عدد التكرار هو أنه يتحتم إجراؤه

في الحقل. والتطبيق الجيد لقاعدة الإبهام هو استخدام أكبر عدد ممكن من التكرار والإعادة قبل بداية وقت أخذ القراءات وذلك بغرض التأثير المؤثر في المنتج النهائي.

بعد إجراء عملية الجمع (stacking)، تمرر البيانات خلال فلتر (مرشح) محدد لإزالة التشويش الصادر من التأثيرات الحثية والتخلص من التقصير في الاستجابة لترددات الجهاز، وكذلك الترشيح المحدد لإنهاء التشويش الحاد. عندئذ يعكس النقصان في مقدار الإشارة مع الزمن وتتحول إلى تضخيم متنوع في الزمن. ويستخدم جهاز "التحكم الأوتوماتيكي للتكبير" (automatic gain control, AGC) لتنفيذ ذلك في الحقل لتنتج تسجيلات لمراقبة الجودة، ولكن مخزن البيانات بشكل طبيعي غير محور.

ويعتمد التعويض لنشر تأثيرات عن طريق مرشحات (SEC) وتعني: "مرشحات التعويض الكروي والتمددي" (spherical and exponential compensation filters) على النماذج المادية تحت سطح الأرض وعادة ما تترك هذه البيانات للمعالجة في المعمل.

تشبه تقنيات المعالجة المستخدمة الآن في الـ (GPR) تلك التقنيات التي تتعامل مع بيانات الطرق السيزمية، وقد أستخدم بالفعل برامج المعالجة السيزمية بدون تعديل لتهذيب وتجميل نتائج الرادار (GPR). وهناك اهتمامات مختلفة، ويرجع ذلك في أغلب الظن إلى طبيعة التحكم الجيد في نبضات الرادار والاستخدام العام لمنحنى الإشارة أكثر من تغطية بـ (CMP)، ولكن هذا لا يخص الفني المشغل للجهاز في الحقل.

(١٠,٣,٢) عرض بيانات الرادار Display of GPR Data

يتم تسجيل شكل مسار الـ (GPR) الغير معالج والمعالج على هيئة سلسة من القيم الرقمية المتساوية في الفترة الزمنية. ويمكن عرض هذا المسار إما على هيئة منحنى بسيط (يسمى شكل ويجل(خط متعرج – متذبذب)، (wiggle trace)، أو عن طريقة "المساحة المتغيرة" (variable area) والتي فيها يتم "تظليل" (shaded) "الانحراف أو الشوط" (excursion) على ناحية واحدة من خط الصفر (الشكل رقم ١٠,٦).



الشكل رقم (١٠,٦). صورة لتسجيل راداري باستخدام نظام (SIR) يوضح مستوى منسوب الماء والمنعكسات المائلة للطبقات الأرضية.

وأحياناً تستخدم الألوان، إما لتظليل "انحراف أو شوط القطبية" (excursion of polarity) باللون الأحمر والانحراف الآخر باللون الأزرق، أو تظليل مستطيلات طولية طبقاً لسعة الإشارة وقطبيتها. ويتكون الشكل النموذجي "للمساحة المتغيرة" من خط مسطح مزود بنقط دالة على "الأحداث" (events) العرضية المتولدة عن طريق الطاقة التي تصل إلى السطح بعد الانعكاس من النقط التي تقع رأسياً تحت الموقع المتوسط بين هوائيتي المرسل والمستقبل.

وينشأ "قطاع الرادار" (GPR section) عن طريق توقيع "أشكال المسارات" جنباً مع جنب لإنتاج "شكل تسجيلي" يمثل فيه المحور الأفقي المسافة ويمثل فيه المقياس الرأسي زمن المسار المزدوج للانعكاس. وفي معظم الأجهزة يتم عرض القطاع المكون من أشكال المسارات التي تمت معالجتها بسهولة على شاشة كمبيوتر وذلك في "الزمن الحقيقي" (real time) بمجرد تحريك "الهوائيات" (antennae) على خط المقطع، وبذلك يعتبر "الرادار الأرضي" (GPR) من أكثر الطرق الجيزفيزيائية استخداماً يمثل الحقيقة.

والتشابه واضح بين القطاعات السيزمية والقطاعات الرادارية (قارن بين الشكلين رقما ١٠,٦ و١٢,٨)، وأحياناً لتمثيل الحقيقة القائلة بأن مقياس زمن المسار

المزدوج للإشارات المعبر عنها "بالنانو ثانية" أكثر من "المللي ثانية"، وهذا يوضح أن القطاع قد تم إنتاجه باستخدام الموجات الكهرومغناطيسية أكثر من الموجات السيزمية.

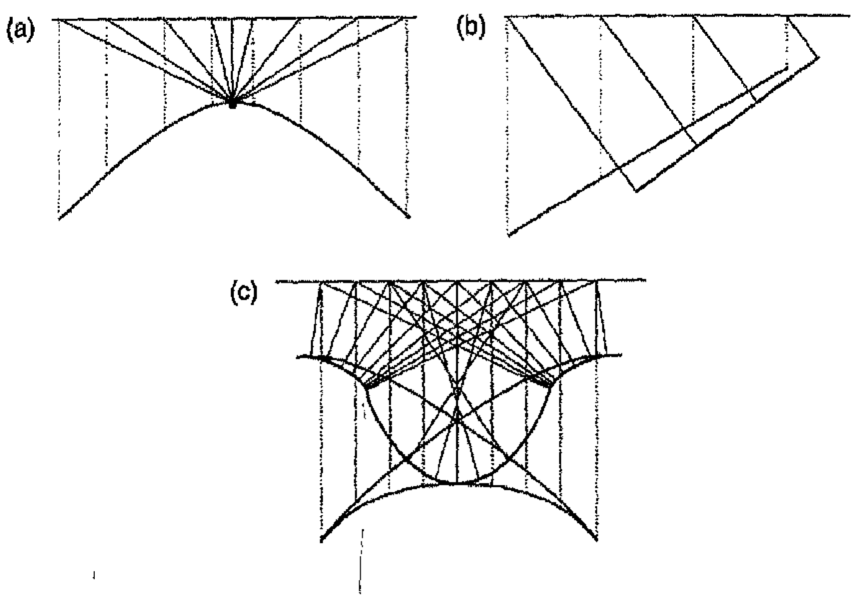
ويظهر منسوب سطح المياه الجوفية والطبقات الرسوبية في "القطاعات الرادارية" (GPR) على هيئة "أحداث" مستمرة (الشكل رقم ١٠,٦). ويستدل عادة على الأنابيب والأسلاك والاسطوانات وغيرها من الأجسام الاصطناعية بأشكال حيودية منحنية ومحدبة لأعلى تنشأ كنتيجة "للضربات العرضية الجانبية" (side swipe). والسبب الجذري لهذه المشكلة هو الإسقاط الرأسي لأشكال المسارات لتكوين قطاع، والذي يسبب كل "الأحداث" التي يجب تسجيلها رأسياً أسفل الموضع السطحي للهوائيات، حتى عندما يشتق ذلك من الانعكاس على مسار مائل.

ويمكن أن تعكس "المنعكسات" (reflectors) الصغيرة أو الزوايا الحادة في المنعكسات المستمرة موجات رادارية عند زوايا كثيرة مولدة "أشكال حيودية" (diffraction patterns) (الشكل رقم ١٠,٧ a). ويعكس التشوه الأقل شدة مواضع المنعكسات المائلة، حيث تنتقل الانعكاسات من هذه المواضع على مسارات مائلة (الشكل رقم ١٠,٧ b). ويمكن أن تولد أشكال الطيات المقعرة إلى أعلى والضيقة ثلاثة انعكاسات عند نقطة سطحية واحدة، منشئة هيئات مميزة تعرف "بالرابطة المقوسة" (bow-ties) (الشكل رقم ١٠,٧ c).

وجميع هذه التشوهات يمكن تصحيحها عن طريق "برامج التصحيحات" (migration programs) التي تطورت أول مرة عن استخدامها لمعالجة البيانات السيزمية، ولكن هذه البرامج يجب تطبيقها على أشكال مسارات عديدة في نفس الوقت وليس من السهل تطبيقها في الحقل.

تأخذ أشكال الحيود أشكل منحنيات قطع زائد (hyperbolic curves)، توفر سرعات مختلفة طبقاً للعمق. تقع مصادرها عند قمتها وذلك بشرط مرور خط المقطع

بشكل حقيقي فوقهم (وهذا يعني عدم اشتراك الضربات الجانبية). وبصفة عامة يمكن القول بأن تطبيقات الرادار تقسم إلى مجموعتين مختلفتين. في المجموعة الأولى التراكيب التطابقية حيث تصور ويعد منها خريطة. وفي المجموعة الثانية، الأشكال الحيودية التي تدل على استنتاج تواجد أجسام محددة، وعادة ما تكون هذه الأجسام اصطناعية وشديدة التوصيل للكهربية.



الشكل رقم (١٠,٧). التشوه الهندسي على قطاعات رادارية. وفي كل حالة توضح الخطوط المستمرة مسارات الانعكاس الحقيقي (للتطابق القريب لكل من هوائيات المرسل والمستقبل) وتظهر الخطوط المنقطة توقيع آثار الأحداث المسجلة. وتظهر الخطوط الرمادية السميكة الصورة الموقعة، بفرض عدم وجود تغيرات في السرعة: (a) شكل الانكسار الناشئ عن نقطة انعكاس على السطح العاكس. (b) الاختزال في الميل والإزاحة الجانبية لميل الطبقة. (c) الرابطة المحدبة لطية مقعرة. أمثلة لبعض هذه الخصائص يمكن التعرف عنها على قطاع سيزمي في الشكل رقم (١٢,٨).

الفصل الحادي عشر

الطرق السيزمية - اعتبارات عامة
SEISMIC METHODS-GENERAL CONSIDERATION

تعتبر الطرق السيزمية هي الأكثر تأثيراً، والأكثر تكلفة من بين جميع التقنيات الجيوفزيائية المستخدمة لدراسة الوسط التطابقي. وسوف نناقش الخصائص الطبيعية لكل من الأعمال المساحية للانعكاس والانكسار في هذا الفصل.

ويختص الفصل الثاني عشر بالمميزات الخاصة للأعمال السيزمية الانعكاسية ذات المقياس الصغير، بينما يختص الفصل الثالث عشر بالطرق السيزمية الانكسارية الضحلة. إلا أن الأعمال المساحية الانعكاسية العميقة والتي تتطلب فرق عمل حقلي كبيرة، والكثير من الأدوات ومعالجة البيانات المعقدة فهي خارجة عن نطاق الاهتمام لهذا الكتاب.

(١١,١) الموجات السيزمية
Seismic Waves

الموجة السيزمية (الاهتزازية) هي طاقة صوتية تنتقل بذبذبة جزيئات الصخر. والموجات "المنخفضة الطاقة" مرنة بشكل عام، وعند مرورها خلال كتلة صخرية فإنها تتركها دون تغير، بينما تؤثر الموجات السيزمية في الصخور حيث يمكن أن يتحطم ويتشوه الصخر بلا عودة لحالته الأولى بفعل هذه الموجات.

(١١,١,١) أنواع الموجة المرنة Types of Elastic Wave

عند انتقال الموجة الصوتية في الهواء فإن جزيئات الهواء تذبذب في الذهاب والعودة في اتجاه انتقال الطاقة. وتنتقل هذه "الموجة الضاغطة"(Push wave) على هيئة سلسة من التضاغطات والتخلخلات. وللموجة الضاغطة في الوسط الصلب سرعة حركة أكبر من سرعة حركة أي موجة أخرى محتملة وهي تعرف أيضاً باسم "الموجة الابتدائية" أو "الموجة الأولية" (Primary wave) أو بشكل مبسط "P - Wave".

وتولد ذبذبة الجزيئات في الاتجاه العمودي على اتجاه انتقال الطاقة (الذي يمكن أن يحدث فقط في الأجسام الصلبة) موجة أخرى ثانوية "(أو بشكل مبسط "S - Wave" وتسمى أحياناً "بموجة القص الاهتزازية" (shear and shake) لأن سرعتها بطيئة نسبياً تسمى "بالموجه الثانوية". وتكافئ سرعة هذه الموجة في الصخور الصلبة نصف سرعة "الموجة الأولية" تقريباً.

وهي تعتمد إلى حد ما على نوع الوسط الذي تتذبذب فيه الجزيئات، ولكن هذه الاختلافات ليس لها أهمية كبيرة في الأعمال المساحية ذات المقياس الصغير. الموجتين الأولية، الثانوية تسميان "موجات الجسم" (body waves) وتمتدان بين كتلة الصخور الرئيسية.

وتنتج الموجات الأخرى، التي تعرف باسم "موجات لوف" (Love waves)، عند الأسطح الفاصلة، بينما يمكن للحبيبات على سطح الأرض أن تأخذ مسار (قطع ناقص) لإنشاء "موجات ريلي" (Rayleigh waves).

ومن المحتمل أن تحمل كل من "موجات لوف" و"موجات ريلي" نسبة لا يستهان بها من مصدر الطاقة ولكنها تنتقل ببطء. وفي أعمال مساحية كثيرة يطلق على هذه الموجات "لفة أرض" (ground roll).

(١١,١,٢) السرعات السيزمية Seismic Velocities

"السرعات السيزمية" في الصخور هي تلك السرعات التي تنتقل بها حركات الموجة خلال تلك الصخور. وهي متميزة تماماً عن السرعات دائمة التغير التي تخص الذبذبات الفردية لحبيبات الصخر.

ويمكن أن يعبر عن السرعة لموجة أولية مرنة (VP) بالجذر التربيعي "لمعامل المرونة" (elastic modulus) والذي يرمز له بالرمز (J) مقسوماً على الجذر التربيعي للكثافة (density) والتي يرمز لها بالرمز (ρ). وللموجات الثانوية يمكن أن يعبر عن السرعة لموجة القص المرنة VS بالجذر التربيعي لمعامل القص (μ) مقسوما على الجذر التربيعي للكثافة (ρ).

والمعادلات هي:

$$Vp = \sqrt{(j/\rho)}$$
$$Vs = \sqrt{(\mu/\rho)}$$

وتوحي هذه المعادلات بأنه يجب أن تكون للصخور ذات الكثافة العالية سرعات سيزمية منخفضة، ولكن لأن ثوابت المرونة عادة ما تزيد بسرعة مع الكثافة، فإن العكس عادة هو الصحيح. والملح هو الصخر الشائع الوحيد الذي له سرعة عالية وله كثافة منخفضة.

وإذا عرفت الكثافة وسرعة كل من الموجة الأولية، والموجة الثانوية في الكتلة الصخرية؛ فإنه يمكن حساب ثوابت المرونة، حيث أن لها علاقة بالمعادلات الآتية:

$$(Vp/Vs)^2 = 2(1-\sigma) / (1-2\sigma)$$
$$(\sigma) = [2-(Vp/Vs)^2] / 2[1-(Vp/Vs)^2]$$
$$(j) = q(1-\sigma) / (1+\sigma)(1-2\sigma)$$
$$(\mu) = q / 2(1+\sigma)$$
$$K = q / 3(1-2\sigma)$$

حيث:

σ= نسبة بوسون (Poisson)

q= معامل يونج (young)

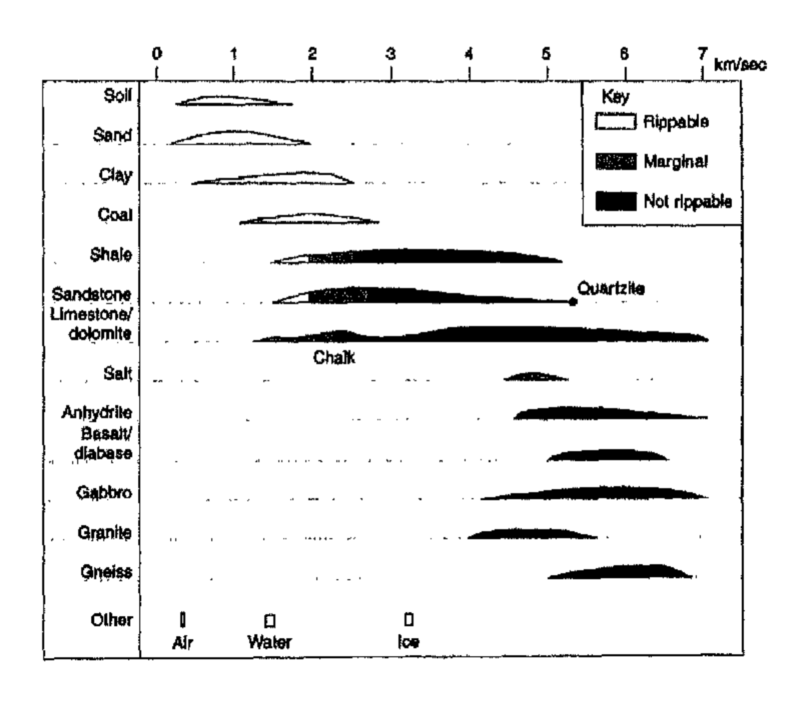
K = معامل الكتلة الكلية (bulk)

وهي تتبع المعادلة :

$$j = K + 4\mu/3$$

ودائماً ما تنتقل الموجة الأولية أسرع من الموجة الثانوية في نفس الوسط. ونسبة بوسون دائماً أقل من (0.5). وفي هذه الحدود فإن النسبة Vp/Vs تساوي مالانهاية.

وتقدم معظم الأعمال المساحية السيزمية تقديرات لسرعات الموجة الأولية فقط، والتي ترشد بصورة مبدئية عن جودة الصخر وطبيعته. ويوضح (الشكل رقم١١.١) مدى السرعة في الصخور الشائعة.



الشكل رقم (١١,١). العلاقة بين متوسط سرعات الموجة الأولية (p) و"القابلية للانشقاق" في بعض الصخور الشائعة.

(١١,١,٣) السرعات ومعادلة متوسط الزمن
Velocities and the Time-Average Equation

بصفة عامة جداً، يمكن الحصول على سرعة خليط من مواد مختلفة عن طريق أخذ متوسطات لزمن الانتقال (مقلوب السرعات the reciprocals of velocities) من خلال المكونات النقية لهذه المواد، موزونة طبقاً لتواجد الكميات النسبي. وهذا المبدأ يمكن تطبيقه حتى ولو كان أحد المكونات مادة سائلة، كما في المثال رقم (١١,١).

مثال رقم (١١,١)

سرعة الموجات الأولية في الكوارتز = ٥٢٠٠ متر لكل ثانية

سرعة الموجات الأولية في الماء = ١٥٠٠ متر لكل ثانية

وعليه تكون سرعة الموجات الأولية في حجر الرمل الذي يتكون من ٨٠٪ كوارتز و٢٠٪ ماء مالئ للفراغات البينية كالتالي:

مقلوب سرعة الموجات الأولية= ٠,٨ / ٥٢٠٠ + ٠,٢ / ١٥٠٠ = ٠,٠٠٠٢٨٧

إذا سرعة الموجات الأولية= ٣٤٨٠ متر/ ثانية تقريباً

في الصخور الجافة، تملاء الفراغات البينية بالهواء ($V = 330\ ms^{-1}$) أكثر من ملئها بالماء. ولذا لا يمكن تطبيق طريقة أخذ المتوسطات كمياً للغاز الذي يملاء الفراغات، ولكن المواد الجافة عموماً لها سرعات موجه أولية منخفضة جداً. وإذا كانت هذه المواد قليلة التماسك وعديمة الاستجابة من حيث المرونة، فإنها من الممكن أيضاً أن تمتص الموجات الثانوية.

وبصفة عامة فإن المواد القليلة التماسك المشبعة بالماء لها سرعات أكثر قليلاً من تلك الغير مشبعة بالمياه، وغالباً ما يمثل منسوب المياه الأرضية سطح سيزمياً بارزاً.

عادة ما تعمل عوامل التجوية على زيادة المسامية، وتؤدي بالتالي إلى اختزال سرعة الصخور. وتقع هذه الحقيقة تحت مفهوم مدى "القابلية للانشقاق"(rippability)

الموضحة في (الشكل رقم ١١،١). وقليلاً من الصخور الصلبة الغير مجواه (Fresh) هي التي لها سرعات أقل من حوالي 2200 ms^{-1}، والصخور القابلة للانشقاق أيضاً تكون مجواة (weathered) على الأقل جزئياً.

(١١،١،٤) أشكال مسار الشعاع Ray-Path Diagrams

ربما توصف الموجه السيزمية بمصطلح "جبهة الموجة" (wave front) وهي التي تحدد النقط التي تصلها الموجة عند لحظة معينة. ومع هذا، فان جزءاً ضئيلاً من "مقدمة الموجة" هو الذي يأخذ الاهتمام في الأعمال المساحية الجيوفيزيائية، حيث أن جزء بسيط من الطاقة يعود إلى السطح عند النقط التي قد وضعت عندها "المجسات" (detectors).

أنه من الملائم التعرف على مسارات مرور الموجات عن طريق الأشعة السيزمية، التي يمكن تطبيق قوانين الهندسة الضوئية عليها عند الاتجاه العمودي على جبهة الموجة. وتطبق نظرية مسار الشعاع في "علم الزلازل" (seismology) بصورة أقل استحسان عن ذلك التطبيق في "علم البصريات" (optics) وذلك يرجع إلى أن معظم أطوال الموجات السيزمية المقيدة (المستخدمة) يقع بين ٢٥ و٢٠٠ متر، وهكذا يمكن مضاهاتها مع الأبعاد المساحية المقاسة وأعماق أسطح الطبقات والأجسام. ويمكن لتأثير الموجة أن يكون له أهمية تحت هذه الظروف ولكن ومع ذلك يمكن أن يعتمد الاستقراء الحقلي على مسار الشعاع التقريبي.

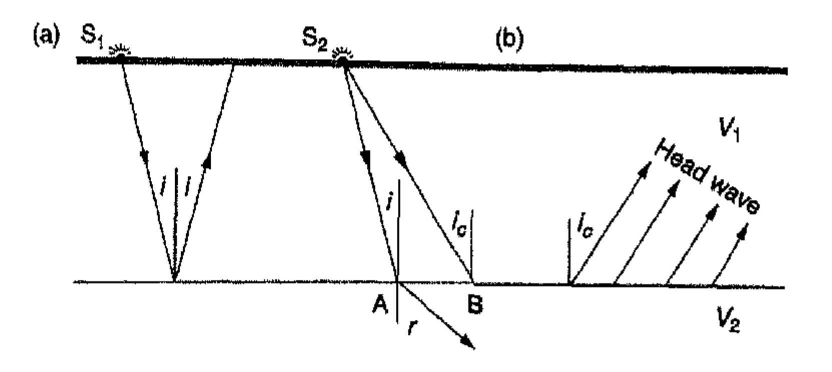
(١١،١،٥) الانعكاس والانكسار Reflection and Refraction

عندما تواجه موجة سيزمية سطح فاصل بين نوعين من الصخور، فإن بعضاً من الطاقة (الأشعة) تنعكس والمتبقي منها يستمر في طريقة ولكن بزاوية مختلفة، وهذا ما يسمى انكسار (refraction) هذا الشعاع. وقانون الانعكاس بسيط جداً؛ حيث زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس (الشكل رقم ١١،٢ a). أما الانكسار فإنه محكوم "بقانون سنل"(Snell's law)، الذي يرجع زوايا السقوط والانكسار على السرعتين السيزميتين في كل من الوسطين.

$$\text{Sin } i / \sin r = V_1 / V_2$$

وإذا كانت السرعة (V_2) أكبر من السرعة (V_1)، فسيكون الانكسار في اتجاه السطح الفاصل. وإذا كانت جيب زاوية السقوط (sin i) تساوي V_1 / V_2 ، فإن الشعاع المنكسر سيصبح موازياً للسطح الفاصل وبعض من طاقته سترتد إلى السطح على هيئة "رأس موجة" (head wave) تتباعد عن السطح الفاصل بزاوية تكافئ الزاوية الأصلية للسقوط (الشكل رقم ١١،٢ b).

وهذه هي الأسس الخاصة بالطرق الانكسارية التي ستناقش في الفصل الثاني عشر. وعند زوايا سقوط أكبر فقد لا يكون هناك شعاع منكسر على الإطلاق حيث تنعكس كامل الطاقة.



الشكل رقم (١١،٢). شكل تخطيطي يوضح المقارنة بين الانكسار والانعكاس. (a) الانعكاس. (b) الانكسار ويتواجد الانكسار البسيط عند نقطة (A) وعند الانكسار الحرج عند نقطة (B).

وعند رسم مسارات الشعاع سواء للموجات المنعكسة أو للموجات المنكسرة بصورة حرجة، فإنه يجب إجراء "التخصيص" (allowance) للانكسار في جميع الأسطح الفاصلة الأكثر ضحالة. والشعاع الوحيد الذي لا ينكسر هو "الشعاع الساقط عمودياً"

(normal – incidence) وهو الذي يقابل جميع الأسطح الفاصلة عند زاوية عمودية (sin I = 90).

(١١,٢) المصادر السيزمية
Seismic Sources

المصدر السيزمي التقليدي هو شحنه صغيرة من "الديناميت" (dynamite). وعلى الرغم من توافر مصادر أخرى الآن مثل المصادر "الاهتزازية" (vibratory) و"التصادمية" (impact) إلا أن المصادر التفجيرية (explosives) تظل هي الشائعة الاستعمال.

(١١,٢,١) المطارق Hammers

توفر "مطرقة ثقيلة" (مرزبة) (sledgehammer) وزنها ما بين ٤ إلى ٦ باوند مصدراً متعدد الجوانب للأعمال المساحية المحدودة. وتعتمد الطاقة المفيدة المنتجة على طبيعة الأرض كما تعتمد على قوة الضربة وخبرة وبراعة الشخص الذي يقوم بها. ويمكن دائماً استخدام المطارق في الأعمال المساحية الانكسارية على امتداد من ١٠ إلى ٢٠متراً طول ولكن في أحوال نادرة تصل الطاقة المنبعثة من المصدر إلى أكثر من ٥٠ متراً.

وتوجه المطرقة عند الضرب (الطرق) إلى قرص معدني مسطح، لا يزيد الغرض منه أكثر من تحسين قوة النبضة (الطرقة) (وذلك لأن طرق الأرض مباشرة بدون استخدام القرص يولد أحياناً طاقة مشتته (أو أكثر من طاقة سيزمية) ولكن عند إيقاف المطرقة فجأة تتولد "قذفة لحظية" (shot instant) محددة وقابلة للتكرار. ويستحسن استخدام قرص من الألمنيوم أو الصلب سمكه بوصة، ولكنه استبدل الآن بقرص سميك من المطاط أكثر تحملاً للضربات وأقل توليداً للضوضاء والتشويش.

وغالباً ما تكون الضربات الأولى للمطرقة غير مؤثرة حيث يحتاج القرص إلى الاستقرار والتثبيت والانغراس قليلاً داخل التربة. إلا أن الحماسة الزائدة في

طرق القرص تؤدي إلى انغراسه بعمق أكثر من اللازم مما يستوجب خلعه وإعادة وضعه على السطح.

(١١,٢,٢) المصادر التصادمية الأخرى Other Impact Sources

يجب استخدام مصادر تصادمية أكثر قوة في الأعمال المساحية واسعة النطاق. ويمكن رفع أثقال يصل وزنها إلى مئات الكيلوجرامات بواسطة "رافعة" (hoist) محمولة أو "ونش" (crane) ثم تترك لتسقط سقوطاً حراً (الشكل رقم ١١,٣). وأقل ارتفاعاً حر مطلق هو ٤ أمتار، حيث إن الارتفاع الأقصر قد يولد طاقة وفيرة تؤدي إلى ارتداد "الدعامة" بعد ارتطام الثقل مما يولد سلسلة خاصة من الذبذبات يمكن تميزها عن الذبذبات السيزمية. والسقطة الطويلة تتيح لهذه الذبذبات بالانعدام التدريجي قبل حدوث الصدمة الارتطامية.

يعتبر "الجرار" (Tractor) الملحق به كباش للحفر، والشائع الاستخدام في المناطق الزراعية، مصدراً ملائماً أيضاً، ويسقط الثقل عن طريق أداة لتوجيه الحركة ويرفع عن طريق نظام شد ملحق بقوة نهوض خاصة بالجرار.

وقد يستخدم أحياناً ثقل صغير نسبياً (٧٠ كجم) يسقط داخل أنبوبة مفرغة. ويتعرض السطح العلوي للثقل للهواء، مما يؤدي أيضاً إلى سقوط وزن (ضغط) من عمود الهواء الذي يعلو الثقل يصل إلى عدة مئات من الكيلوجرامات.

وتعتبر هذه الفكرة ممتازة إلا أن هناك صعوبة في نقل هذا المصدر وذلك يرجع إلى أن الأنبوبة يجب أن تكون قوية وبالتالي تكون ثقيلة كما يجب أن تركب على "عربة مقطورة" (trailer)، ومعها محرك لماكينة ضاغط (مضخة ماصة كابسة) لتفريغ الهواء داخل الأنبوبة.

تستخدم على نطاق واسع "مصادر الاهتزاز" (vibration sources) في الأعمال المساحية الانعكاسية ولكن البيانات الناتجة منها تحتاج إلى معالجة كثيفة ومعقدة.



الشكل رقم (١١,٣). صورة توضح مصدر تصادمي عبارة عن ثقل معلق يسقط سقوطاً حراً من رافعة أو ونش.

(١١,٢,٣) المتفجرات Explosives

يمكن استخدام أي نوع من أنواع المتفجرات (الآمنة) في الأعمال السيزمية، وخاصة إذا كانت "حفرة القذف" (shot hole) ضحلة والشحنات محفوظة وآمنة بحيث لا

تتعرض إلى درجة حرارة أو ضغط غير عادي. وتعتبر المتفجرات الجبلية cord explosives، وهي التي تستخدم في تفجيرات المحاجر والتي تتميز بتأخر تتابع عملية الحريق، أكثر أماناً من "الجليجنيت العادي"(normal gelignite) ويمكن حشوها داخل "حفرة القذف" المعدة من قبل، وذلك باستخدام عمود معدني خاص أو "عتله" (crowbar) داخل الأرض. والمفجر المستخدم هو في حد ذاته مصدر ممتاز للأعمال المساحية الانعكاسية الضحلة التي تتطلب درجة ثبوت عالية.

وغالباً، ما تسبب معظم الطاقة المتولدة من التفجير انشقاق الصخور بالقرب من "نقط القذف" (shot point)، وتتولد موجات سيزمية بطريقة مؤثرة جداً بواسطة القذف الناري في متر أو نحوه من للمياه. وهذا التأثير يتميز بأنه إذا لم يكن موقع القذف حرجاً، فإنه يمكن أن ينتشر عشرات بل مئات الأمتار بعيداً عن الانتشار المسجل وذلك بغرض وضع الشحنة في نهر. وفي المناطق الجافة، يمكن تحسين الوضع بصورة جيدة عن طريق صب مياه داخل حفرة القذف.

الحريق الكهربائي عادي عندما تستخدم متفجرات ولكن مع المفجرات العادية يوجد وقت قصير مؤجل بين اللحظة التي تقاد فيها الفتيل، التي توفر زمن مرجعي، والوقت الذي تنفجر فيه الشحنة بكاملها. ويجب استخدام "المفجرات ذات التأجيل الصفري" (Zero-delay detonators) في الأعمال السيزمية، ويجب مراجعة زمن التأجيل الكلي خلال النظام كله، شاملة التسجيلات بالطريقة الروتينية المنتظمة وذلك باستخدام مفجر مفرد مدفون على بعد بوصات قليله من أول جيوفون.

وهناك مشاكل مرتبطة بأمان المتفجرات وتأمينها وبيروقراطية التعامل معها. ويجب أن تستخدم هذه المتفجرات بالتوافق مع القوانين واللوائح المحلية، التي عادة ما تحتاج إلى إجراءات أمن منفصلة ومخازن مرخصة للمفجرات "ومادة الجليجنيت" (gelignite). وفي بلاد كثيرة يتحتم إتمام العمل تحت إشراف خبير حاصل على رخصة في "القذف الناري"، ويستلزم تصريح من الشرطة وذلك في كل مكان تقريباً.

وعلى الرغم من هذه العيوب، والصداع اللحظي الذي يسببه وجود "مادة الجليجنيت" وملامستها للجلد المكشوف إلا أن المتفجرات لا زالت تستخدم. فهي تمثل مصدر مؤثر للطاقة السيزمية في أفضل صورة قابلة للنقل وهي في الواقع أساسية عندما تكون المسافة المطلوب الكشف عنها أكثر من ٥٠ متر عمق.

وهناك إمكانية للتنوع في الطرق التي تعتمد على المتفجرات مع الإقلال من المخاطر. ويمكن توليد موجات سيزمية عن طريق أجهزة تقوم بإطلاق قذيفة من الرصاص في الأرض من "بندقية خرطوش خاصة" (shotgun-sized cartridge)، ولكن الطاقة المتولدة ضعيفة نسبياً، وربما يحتاج الأمر إلى ترخيص حمل سلاح، على الأقل في المملكة المتحدة.

وهناك طريقة أخرى هي استخدام "بندقية خرطوش مركزية" (blank shotgun cartridge) في "مثقاب" (auger) صغير الذي يدمج في غرفة حريق، تشمل "حفرة القذف" و"المقذوف" (shot). وهذه الطريقة نادراً ما توفر طاقة أكبر من طريقة ضغط الهواء من "المطرقة سهلة التأرجح" (well-swing hammer) وهي أقل سهولة في تكرارها.

(١١,٢,٤) إجراءات الأمن والسلامة Safety

لابد من توفير كميات كبيرة من الطاقة في الأرض إذا كان الانكسار المراد تعيينه من أعماق أكثر من بضعة أمتار أو إذا كان الانعكاس من أعماق أكثر من بضع عشرات من الأمتار، وهذه العمليات تصحبها مخاطر. وتتعاظم الأخطار مع المتفجرات ولا تكون آمنة باستخدام ثقل ساقط من ارتفاع ٤ أمتار وزنه نصف طن.

ويجب فقط استخدام المتفجرات بواسطة خبراء متخصصين (وربما تكون معهم رخصة). وحتى هذا ليس من الضروري أن يمنع الخطر، حيث أن الخبراء في تفجيرات المحاجر غالباً ما يفتقدون الخبرة في أداء الأعمال المساحية السيزمية ذات الظروف الخاصة. وإذا حدثت حادثة، فسوف يقع بالضرورة معظم اللوم على رئيس العمال الذي سيضع نصب عيناه على إجراءات الأمن والسلامة، إذا كان واعياً.

ومن مبادئ الأمن الأساسية أنه يجب على الشخص الذي يقوم "بالقذف الناري" أن يكون قادراً على رؤية "نقطة القذف". ولسوء الحظ، قد تصمم بعض الأجهزة السيزمية بحيث يقوم بعملية القذف الشخصي الفني المشغل للأجهزة بنفسه، الذي نادراً ما يكون لديه القدرة على رؤية أي شيء والذي في جميع الأحوال مشغول مسبقاً بمراجعة مستوى التشويش.

وإذا حدث واستخدم هذا الجهاز، فانه يجب على الأقل أن يكون هناك احتمال لمنع الحريق بواسطة شخص ما يكون بعيد بمسافة كافية من نقطة القذف لكي يكون في وضع آمن ولكنه قريب بمسافة كافية ليتمكن من ملاحظة ما يحدث.

ويمكن إنجاز هذا العمل، بعد شحن "حفرة القذف" بالمواد المتفجرة، يتم إيصال "المفجر" أولاً بطرف واحد من أطراف سلك ممتد يصل طوله إلى ٢٠ أو٣٠ متراً. وعندها فقط تتضح "نقطة القذف" فإنه يجب ربط الطرف الآخر لهذا السلك بالسلك القادم من وحدة الحريق. ويمكن منع الحريق في لحظة وذلك عن طريق شد طرفي السلكين بعيداً عن بعضهما.

ما لم يستخدم "مادة الجليجنيت" الشاقة ("sweaty" gelignite) (يجب التحذير الكامل عندما تكون مادة "النيتروجليسرين الزيتي" (oily nitroglycerine) مكشوفة على مرمى البصر، على الأقل للأشخاص الأقل خبرة)، فإن مواد التفجير الحديثة غير حساسة بدرجة معقولة لكل من الحرارة والصدمات. تعتبر "المفجرات" (Detonators) هي المسببات الشائعة للحوادث.

وعلى الرغم من قوة تفجيرها الضئيلة إلا أنها قد تسبب فقد في الأصابع أو اليدين. وعلية فإنه يجب دائماً وضعها في حفرة مكبوسة جيداً، حيث يمكن أن يتسبب كسر حطام الأنبوبة المعدنية المبطنة في إحداث جروح خطيرة.

إذا أمكن (على الرغم من عدم شيوعها) للمفجر أن "يقذف" (triggered) عن طريق التيارات الحثية الناتجة من خطوط قوى أو مرسلات راديو ولكن هذا غير

مستحب إذا التوت الصفائح المعدنية معاً. ويمنع "القذف" بواسطة " الكهربية الساكنة" (static electricity) إذا الدوائر الكهربية مغلقة. ويجب تجزئة صفائح نهايات المفجرات القصيرة والملتوية فقط عندما يأتي الوقت لإجراء التوصيل إلى سلك الحريق، الذي يجب أن يكون بدوره قصيراً عند النهاية البعيدة. ويجب عدم تناول المتفجرات باليد على الإطلاق عندما تحدث عاصفة رعدية.

وتحتاج شحنات المتفجرات لأن تكون متوافقة مع احتياجات الحفر المتاحة طبقاً لمواصفاتها. ويمكن استخدام شحنات كبيرة من المتفجرات في الحفر العميقة بأقل تأثير ظاهر عند السطح، ولكن غالباً ما يحدث تفجير خارجي وتتطاير الشقفات الصخرية إلى مسافات بعيدة في الحفر الأقل في العمق من ٢متر.

والخبرة فقط هي التي تحدد المسافة الآمنة المسموح بها حول الحفرة، وحتى الشخص المستخدم ذو الخبرة يمكن أن يخطئ في التقدير، ولذلك يجب ارتداء خوذة للأمان، كما يجب توافر حواجز أو دروع مادية طبيعية مثل حائط، أو شاحنة أو جذع شجرة ضخمة ويمكن أن يؤدي استخدام الحصائر (الدروع) الثقيلة الحامية من المتفجرات إلى الإقلال من المتفجرات الخارجية، ولكن عمرها الافتراضي (المفيد) يميل إلى القصر ومن غير الحكمة الاعتماد عليها بفردها.

يجب التعامل مع الموضع الذي عنده يتم التفجير حتى ولو بدون تكوين فوهة، بحذر وشك. فمن المحتمل أن تنهار في وقت لاحق حفرة التجويف المختفي ظاهرياً تحت تأثير وزن شخص أو حيوان أو سيارة، ويؤدي ذلك رفع دعوى قضائية لها اعتبارها.

(١١,٢,٥) انقطاع الزمن Time Breaks

في أي عمل مساحي، فإنه يجب أن يعرف الزمن الذي انطلقت فيه الموجه السيزمية. في بعض الأجهزة يظهر هذا في ورق التسجيل على هيئة انقطاع في واحد من المسارات (إما انقطاع القذف وإما انقطاع الزمن). وفي معظم الأجهزة الحديثة تعرف حقيقة بداية التسجيل.

يمكن إنتاج نبضات "انقطاع الزمن" (Time-break) بطرق مختلفة كثيرة. من الممكن وضع الجيوفون قريب من مصدر الذبذبات ، على الرغم من أن إجراء هذا صعب جداً على "الجيوفون" (geophone) أو (سماعة أرضية).

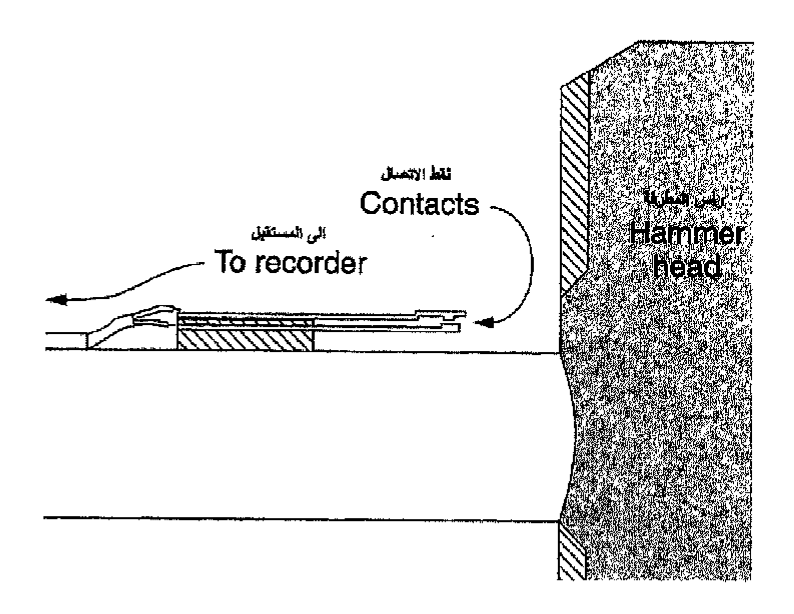
وعادة ما يتم إشعال مصادر التفجير بطريقة كهربية، ويمكن توفير المتطلبات اللازمة لإنتاج شرارة، وهي سريان فترة من التيار في دائرة المفجر.

وكبديل، يمكن لف السلك حول شحنه المتفجرات الرئيسية، لكي تنكسر عند "لحظة القذف". وهذه التقنية يمكن أن تستعمل في مناسبات نادرة عندما يتم تفجير الشحنة باستخدام فتيل إشعال المفرقعات.

تعتمد عادة الأعمال المساحية باستخدام المطرقة على تكوين انقطاع "دائرة" (circuit). إحدى هذه الطرق هي توصيل رأس المطرقة، في أحد جوانب "دائرة المقداح" (trigger circuit) بالقرص (على افتراض أنه معدن، وليس مطاط) على الجانب الآخر. على الرغم من أن هذا متفق عليه ومعروف وبسيط ومضمون، إلا أنه من الناحية العملية هناك مخاطر من "الاهتزازات" (shocks) المتكررة التي تصدر من مختلف الروابط والوصلات وما لها من تأثير كبير على مصداقية النتائج واستمرارها على المدى البعيد.

وفي كل الأحوال، فإن للقرص عمر افتراضي قصير نسبياً، يجب بعده تغير الوصلات بوصلات جديدة. ومن الناحية الأكثر واقعياً يتم تركيب "إبدال" (relay) خلف يد المطرقة وخلف رأس المطرقة مباشرة، وعند الطرق على القرص يغلق هذا "الإبدال" لحظياً (الشكل رقم ١١,٤).

وسوف يغلق مؤخراً، أو لا يغلق على الإطلاق إذا استخدمت المطرقة بطريقة خاطئة. وتعطى المفاتيح المصمتة (التي ليس لها صمامات الكترونية) المتاحة من بعض شركات أجهزة السيزموجراف، نتائج جيدة ولكنها مرتفعة السعر ويمكن أن تتحطم بسهولة.



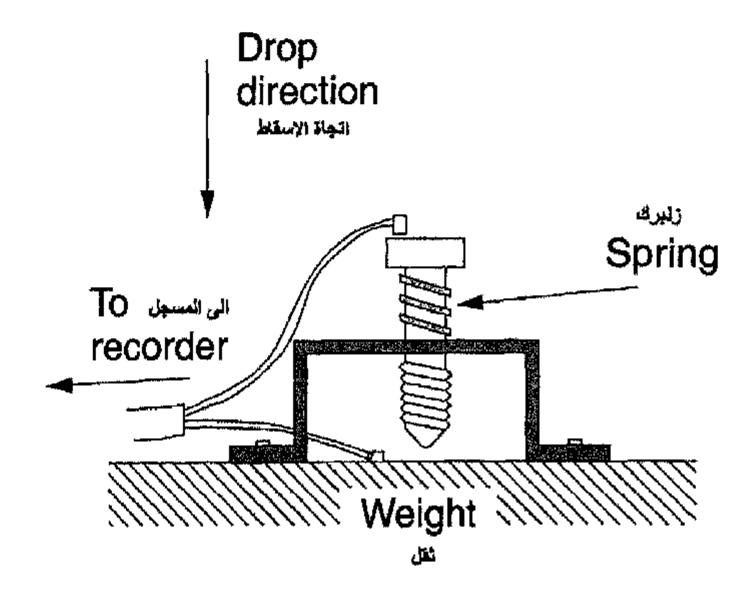
الشكل رقم (١١,٤). رسم تخطيطي "للإبدال" المركب خلف يد المطرقة وخلف رأسها مباشرة حيث يغلق هذا "الإبدال" عند الطرق (عند التصادم).

ودائماً ما يكون السلك الواصل بين مفاتيح "المقداح" على المطرقة و"المسجل" (recorder) قابل للعطب أو معرض له حيث يميل للالتواء عبر القرص قبل بداية الصدمة مباشرة. وإذا قطع هذا السلك، فإن الشخص المتسبب في ذلك الخطأ عليه تقليدياً أن يقوم بإصلاح ما افسد ويروي ظمأ جميع شهود العيان الحاضرين.

وعندما يكون المصدر عبارة عن ثقل ثقيل حر من ارتفاع معين، فإنه يمكن وضع "مفتاح إبدالي" (relay switch) على سطح قمته ولكن من المحتمل ألاّ يشحذ" (not trigger) إذا لم تكن السقطة مستقيمة تماماً.

ويوضح (الشكل رقم ١١,٥) صورة "أداة" بسيطة غير متقنة ولكنها مصنوعة محلياً ولها مصداقيتها في الأداء ويمكن إضافتها لأي ثقل ساقط سقوط حر. ويمكن أن تكون نبضات "قاطع الزمن" قوية بصورة كافية لتكوين (لتوليد) تداخلات على

القنوات الأخرى (حديث متقاطع كما في الفقرة ١١,٣,٥). ويجب عندئذ الحفظ الجيد (العزل) لأسلاك "المقداح" والدوائر بعيداً عن خطوط البيانات السيزمية.



الشكل رقم (١١,٥). مفتاح تماسي للثقل الساقط يمكن استخدامه "كمفتاح إبدالي".

(١١,٣) الكشف عن الموجات السيزمية

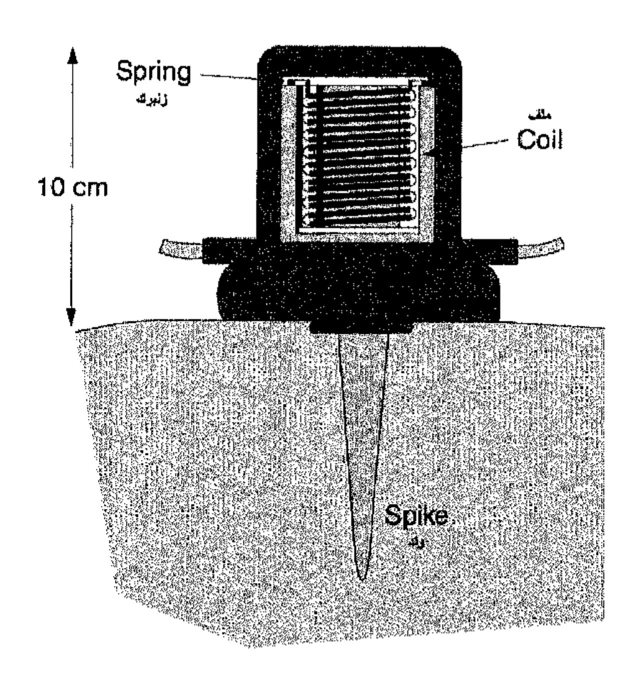
Detection of Seismic Waves

تعرف الكشافات "المجسات" السيزمية الأرضية "بالجيوفونات" (geophones) أو السماعات الأرضية، وتعرف الكشافات (المجسات) السيزمية البحرية "بالهيدروفون" (hydrophones). وكل منهما يحول الطاقة الميكانيكية إلى إشارات كهربية. ويثبت الجيوفون عادة بضغط المسمار بسنه المدبب في الأرض ولكن من الضروري عدم لف المسمار (عدم برمه) واستخدام بعض أنواع من "اللبادة اللاصق" (adhesive pad) أو معجون لاصق عند أداء العمل في أرض مكشوفة.

(١١,٣,١) الجيوفونات (السماعات الأرضية) Geophones

يتكون الجيوفون من "ملف (coil) ملفوف على لب مغناطيسي عالي النفاذية ومعلق في "زنبرك مفصلي" (leaf spring) داخل مجال مغناطيسي ثابت (الشكل رقم ١١.٦). وإذا تحرك الملف نسبياً داخل المجال المغناطيسي فسيتولد فرق جهد حثي وسينساب تيار كهربي في الدوائر الكهربية الخارجية. ويتناسب شدة التيار مع سرعة الملف خلال المجال المغناطيسي، وبالتالي تسجل حركة (اهتزاز) الأرض، وليس إزاحة الأرض.

وفي معظم الحالات يثبت الملف بحيث يكون حراً ليتذبذب رأسياً، وعلى ذلك فإنه يعطي أقصى حساسية للموجات الأولية (P-Waves) التي تصعد شبه رأسية من مستويات الانفصال الطبقي التحت سطحي بمعنى الإحساس بالموجات الأولية المنعكسة والمنكسرة (وليست الموجهة).



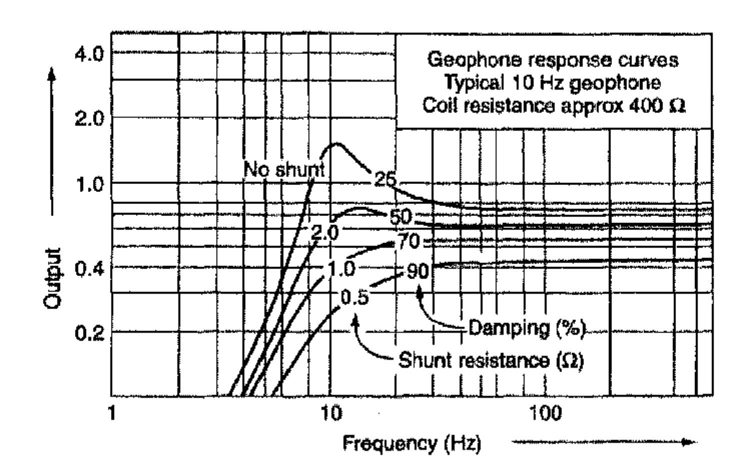
الشكل رقم (١١,٦). مقطع تخطيطي في جيوفون ذي ملف متحرك.

وتعطي جيوفونات الموجة الأولية التي عادة ما تكون موصلة ببعضها، النبضات التي تأتي أولاً (الانقطاعات، Breaks) والخاصة بالانكسارات والانعكاسات، ولكن قد تقطع طريق ما للموجات الموجهة (direct waves). في الأعمال الانعكاسية التي تستخدم الكثير من القياسات التعويضية (offsets)، أو في الأعمال الانكسارية حيث التناقص في السرعة بين الغطاء الردمي والطبقات الانكسارية العميقة يكون صغيراً، تصنع جبهات الموجة الصاعدة زوايا كبيرة نسبياً مع مستوى سطح الأرض وستتم التفرقة بين الموجة الأولية والموجة الثانوية عن طريق الجيوفونات بصورة أقل جودة.

تصل مقاومة ملفات الجيوفون إلى ٤٠٠ أوم ويتم تحديد درجة التثبيط (damping) عن طريق "إعاقة" (impedance) الدوائر التي تتصل بالجيوفون. وتتأثر أيضاً الحركة النسبية بين الملف والغلاف الخارجي للجيوفون بتردد الذبذبة الطبيعية للنظام الزنبركي المعلق.

وعند الترددات الأكثر من الرنين (resonance)، ستتضاعف الاستجابة للحركة الأرضية إلى الضعف تقريباً، ولكن الإشارات الأقل من مستوى تردد الرنين سيصعب تخفيضها (تهوينها). ويصل الرنين في الجيوفونات المثالية (القياسية) إلى أقل من 10 (Hz)، بمعنى أنها أقل من الترددات المفيدة في الأعمال المساحية ذات المقياس الصغير. ويوضح (الشكل رقم ١١،٧) منحنى الاستجابة المثالي للجيوفون ذات الرنين الذي مقداره (10 Hz).

وعادة ما تكون الجيوفونات قوية البنية وتتحمل الأعمال الشاقة، ويتوقف هذا على الطرق التي تعامل بها هذه الجيوفونات. وبالرغم من ذلك فإن عمرها الافتراضي سيختزل إذا ما ألقيت بإهمال من عربة النقل على هيئة كومة متشابكة على الأرض. ويمكن أن يشترى أو يصنع إطار يمكن استخدامه في تشبيك وحمل الجيوفونات كما هو واضح في (الشكل رقم ١١،٨)، وهذا يعتبر استثماراً جيداً للمحافظة على إطالة عمر الجيوفونات، وذلك في حالة استخدامه بالفعل.



الشكل رقم (١١,٧). منحنى الاستجابة المثالي للجيوفون ذو الملف المتحرك. وتعتمد درجة على قيم مقاومة الصدمة المتصلة في توازي مع الجيوفون، وأيضاً تعتمد على المقاومة الداخلية.



الشكل رقم (١١,٨). صورة "لسماعة" (حامل خاص) للجيوفونات أثناء استخدامها.

(١١,٣,٢) الكشف عن الموجات الثانوية Detection of S-Waves

على الرغم من اعتبار الموجات الثانوية على أنها تشتيت وضوضاء في معظم الأعمال السيزمية، إلا أن هناك حالات معينة ببحث دراسة تلك الموجات وتجميع معلومات مفيدة عنها. فعلى سبيل المثال يحتاج تعين خصائص المرونة للصخور إلى تحديد السرعات الخاصة لكل من الموجات الأولية والثانوية (فقرة ١١.١.٢).

وتتميز الجيوفونات الخاصة بتسجيل الموجات الثانوية بوجود "ملفات" (coils) تتحرك أفقياً أكثر من حركتها الرأسية، ويفترض أن تصعد جبهات الموجة ذات الاعتبار رأسياً (تقريباً) وعندئذ ستتذبذب الموجة الثانوية في مستوى الأرض. ولأن "الموجات المباشرة" (direct waves) تنتقل موازية لسطح الأرض، فإن جيوفونات الموجة الثانوية(S-wave) تكون أكثر حساسية للموجات المباشرة الأولية أكثر من الموجات المباشرة الثانوية، مثلها كمثل حساسية جيوفونات مباشرة الأولية تماماً "للموجات الموجة المستقطبة الرأسية" (vertically polarized direct S waves).

(١١,٣,٣) الكشف عن الموجات في المياه والمستنقعات
Detection in Swamps and Water

الجيوفونات العادية محمية ضد الأمطار أكثر منه للماء، ومتصلة بالأسلاك عن طريق مشابك الكروكوديل. والجيوفونات متوفرة أيضاً على هيئة جيوفونات مغطاة تماماً ومغلقة بلحام داخل غلاف ضد المياه، للاستخدام داخل المستنقعات. وهذه الجيوفونات ليست مزودة "بمسامير" (spikes) ولكنها تأخذ شكل معين يمكنها بسهولة من الانغراس داخل التربة الطينية.

لا يمكن استخدام الأجهزة الحساسة للحركة في الماء. وتستجيب "الهيدروفونات المسامية" (Piezo electric hydrophones) للتغيرات في الضغط أكثر من استجابتها للحركة وهي حساسة بصورة متساوية في جميع الاتجاهات. وليس مطلوباً التفرقة بين الموجات الأولية والموجات الثانوية حيث لا يمكن للموجات الثانوية أن تنتقل خلال الموائع (مثل المياه والمستنقعات).

(١١,٣,٤) التشويش Noise

أي ذبذبة ليست جزء من "الإشارة" (signal) تعتبر "تشويش" (Noise). ولا يمكن تجنب التشويش حيث يتولد "التشويش الملتحم" (coherent noise) عن طريق القذف نفسه. الموجات الثانوية، وموجات لوف وريلي (love and Rayleigh waves) والانعكاسات من الأسطح الغير منتظمة جميعها أشكال من "التشويش الملتحم" هذه الموجات البطيئة، وهي بالتالي التي تصل متأخرة، عادة ما تمنع استخدام أي حدث خلاف الطاقة التي وصلت أولاً.

والتشويش الذي لا يتولد من عملية "القذف" (shot) يصطلح على تسميته بالتشويش العشوائي (random noise). وتولد حركة المرور، والحيوانات والناس تشويش عشوائي ويمكن إلى حد ما، التحكم فيه والحد منه باستخدام المرشحات. ويجب على الأقل أن يكون هناك احتمال لمنع مشاركة فريق العمل، بإعطائهم تحذير عن طريق استخدام صفارة أو الصياح.

وينشأ التشويش العشوائي أيضاً من حركة المزروعات بالرياح وحركة تقليب الأرض. ويمكن الإقلال من هذه التأثيرات عن طريق وضع الجيوفونات بعيداً عن الأشجار والأعشاب، وأحياناً عن طريق إزالة الشجيرات الصغيرة حول مواضع الجيوفونات. ويمكن غالباً إنجاز تحسينات مهمة عن طريق تحريك الجيوفون المسبب للتشويش بضعة بوصات. ووضعية الجيوفونات مهمة. فقد يكون هناك صعوبة في تثبيت (غرس) مسمار الجيوفون تثبيتاً كاملاً في الأرض الصلبة إلا أن وضع الجيوفون مرتفع عن الأرض بحوالي بوصة يمكن أن يهتز بالرياح.

(١١,٣,٥) الأسلاك السيزمية Seismic Cables

تحمل الإشارات السيزمية من الجيوفونات إلى أجهزة التسجيل على هيئة تيارات كهربية متنوعة في الأسلاك (الكابلات) التي يجب أن تحتوي على ضعف طول السلك الفردي حيث توجد الجيوفونات.

ومن الضروري أن تحزم وتحمل الأسلاك قريبة جداً من بعضها وليس فقط لها القدرة على حمل التيار الخارجي مثل أسلاك الكهرباء والتلفونات وأسلاك التيار الحثي، ولكن يمكن تمرير الإشارات القوية جداً في سلك واحد بطريقة حثية إلى كل الأجزاء الأخرى. ويمكن "للتدخلات المتقاطعة" (cross-talk) بصفة خاصة أن تكون خطيراً بسبب الإشارات القوية التي تولدها الجيوفونات القريبة من "نقطة القذف"، ويمكن أن يكون من الضروري فصل هذه الجيوفونات حتى يمكن الحصول على تسجيلات جيدة في القنوات الأخرى.

تزداد التداخلات المتقاطعة عموماً مع التقدم في عمر السلك، ربما يحدث ذلك بسبب الزيادة التدريجية المطردة للرطوبة داخل غطاء العازل الخارجي للسلك. وأخيراً فلابد من التخلص من هذا السلك.

تعتبر الأسلاك و"الفيش" (plugs) من أهم الأجزاء في النظام السيزمي وتزداد المخاطرة عندما يتم ربطهما معاً. ولذلك فمن المهم جداً أخذ الحذر والانتباه الشديد عند توصيلهما. وعملية إعادة لحام أسلاك إلى "فيشة" واحدة لتوصيلها بـ ٢٤ أو أكثر من الروابط هي عملية ليست سهلة وليست محببة.

معظم الأسلاك لها أطرف مزدوجة، وهذا يعطي لأي طرف الفرصة للارتباط "بالمستقبل" (receiver). وإذا أنقطع سلك فستتأثر فقط الرابطة الخاصة به عند طرفه، ويمكن أن يعاد نشاط القناة المعطلة تماماً إذا تم عكس سلك الكابل. وفي الغالب الأعم، يمكن أن تكتشف باقي القنوات المعطلة عندما يجري إصلاح النظام.

(١١,٤) تسجيل الإشارات السيزمية
Recording Seismic Signals

تعرف الأجهزة التي تقوم بتسجيل الموجات (الإشارات) السيزمية "بالسيزموجراف" (seismographs). وتتفاوت مقدره هذه الأجهزة من أول جهاز الميقات

الذي يسجل حدث سيزمي واحد إلى أجهزة حديثة معقدة تقوم بالتحويل الرقمي للبيانات وترشيح الإشارات الواردة من أكثر من وحدة في نفس الوقت وتخزينها.

(١١,٤,١) السيزموجراف أحادي القناة Single-Channel Seismographs

معظم أجهزة السيزموجراف أحادية القناة مزودة "بعارض بياني"، على الرغم من الأجهزة البدائية السيزمية الميقاتية (timers) التي تعرض رقمياً وقت وصول أول طاقة إشارة لها معنى كانت قديماً منتشرة. وفي "العارضة المرئية" (الشاشة) يكون فيها المدى الزمني عبارة عن مفتاح (switch) أو منصة مفاتيح اختيارية، وعلى الجانب الأيسر للشاشة يظهر عليها لحظة القذف أو لحظة الارتطام.

وليس من العادة إمكانية الحصول على نسخة ورقية من النتائج ولكن يتم قياس الزمن مباشرة. وفي بعض الطرازات يمكن تحريك مؤشر الكمبيوتر على الشاشة بينما الوقت المطابق لموضعه معروض عليها. ويمكن رصد ومتابعة مستوى التشويش عن طريق ملاحظة خط الأثر (Trace) وذلك في حالة عدم وجود مصدر للنبضات.

تستخدم أجهزة السيزموجراف أحادية القناة مبادئ تعزيزية (تجميلية) . فتخزن صورة رقمية من الإشارات في ذاكرة ذات عرض مصمت (solid-state memory) بالإضافة إلى عرضها على الشاشة. ويمكن للإشارة الثانوية إما أن تحل محل الإشارة وإما تضاف إليها. ويمكن أن ترتص (stacked) وتجمع (summed) أي عدد (N) من الإشارات بهذه الطريقة وذلك بغرض التحسين النظري في نسبة الإشارة إلى التشويش (S/N).

ومن الواضح أن أجهزة السيزموجراف التي تسمح بأن تعرض الإشارات وترتص وتتجمع هي أعلى كفاءة من مجرد "ميقات"، ويمكن استخدامها في دراسة الأحداث وليس فقط دراسة زمن الوصول الأول.

ومع ذلك، فهي بصفة عامة مقيدة فقط في الأعمال الانكسارية الضحلة حيث أنه من الصعب التفريق بين "الموجات المباشرة" و"المنكسرة" و"المنعكسة" على "خط أثر فردي" (single trace). واستخدام المطرقة في الحصول على موجات سيزمية هو استخدام

عالمي، حيث إنه من غير المستحب استخدام الشحنات التفجيرية المكلفة ماليا للحصول على هذه الكمية المحدودة من البيانات.

(١١,٤,٢) أجهزة السيزموجراف متعددة القنوات Multi-Channel Seismographs

تستخدم أجهزة السيزموجراف ذات الاثني عشر أو أربعة وعشرين قناة بصفة عامة في الأعمال المساحية السيزمية الضحلة، بينما تستخدم في الأحوال العادية الأجهزة ذات الثمانية والأربعون قناة في الأعمال المساحية الانعكاسية العميقة. وباستخدام هذه الأجهزة متعددة القنوات، يمكن تنفيذ الأعمال المساحية السيزمية لكل من الموجات الانكسارية والموجات الانعكاسية ويكون من المنطقي استخدام المتفجرات حيث تكون تكلفة كل قذفة (shot) أقل أهمية وذلك عندما تنتج (تولد) كل قذفة (تفجيرة) العديد من "خطوط الأثر" على كل القنوات في وقت واحد.

وتستخدم عمليات التهذيب والتجميل على نطاق واسع، وتعطي معظم الأجهزة الآن النتائج على هيئة "معروض بياني" ونسخة ورقية ضوئية، وكذلك تسجيلات رقمية.

وأجهزة السيزموجراف المعدلة المستخدمة الآن (الشكل رقم ١١.٩) هي أجهزة متعددة الاستعمالات وغاية في التعقيد وتعدد الإمكانيات. ويمكن أن تتنوع أشكال عرض النتائج ويمكن أن يختار "خطوط أثر" منفردة بغرض تهذيب البيانات أو استبدالها أو حفظها. ويمكن تكبير "خطوط الأثر" بعد أو قبل تخزينها في الذاكرة، ويمكن استخدام "الزمن التعويضي" (time offsets) لعرض الأحداث التي حدثت بعد زمن تأجيل طويل.

وقد يمنع التسجيل الرقمي عملياً اللجوء إلى تكبير الخطوط والمنحنيات قبل عملية التسجيل، وذلك يرجع إلى "المدى الحركي" (dynamic range) الواسع الملازم والمصاحب لتخزين البيانات على هيئة أرقام ثابتة ودقيقة موجبة الدليل (plus exponents) (انظر مثال ١١.٢). ويمكن تطبيق نظام الفلاتر (المرشحات) لاختزال كل من الترددات العشوائية

للتشتت وأيضاً التشتت طويل الأجل، والغير معروف مصدره وأصله، والذي أحياناً يوجه "خط الأثر" من جيوفون أو جيوفونان قاطعاً الشاشة العارضة، وحاجباً "لخطوط الأثر" الأخرى.



الشكل رقم (١١,٩). صورة لجهاز سيزموجراف معدل.

مثال (١١,٢)

يختص "المدى الحركي" (dynamic range) بالمدى الذي فوقه يمكن تسجيل البيانات بدقة متجانسة عامة للنسبة المئوية. فعندما سجلت السعة السيزمية بشكل "متماثل" (analogue) على شريط مغناطيسي، الذي فيه تتناسب درجة المغناطيسية مع قوة الإشارة، كان "المدى الحركي" محدد عند السعة السيزمية المنخفضة بتشتت الشريط ولكن عند السعة السيزمية العالية يكون محدداً بالتشبع المغناطيسي. يطبق عندئذ"التحكم المكتسب الأوتوماتيكي؛ الذاتي"(automatic gain control) (AGC) قبل إجراء عملية التسجيل، وأنه من المؤكد تشويه الإشارات.

وفي النظام الرقمي، تسجل البيانات على هيئة قيم عددية "موجبة الأس الدليلي" (plus exponents) وهي تمثل قوة (أضعاف) لأرقام أخرى عن طريقها يجب مضاعفة القيمة الرقمية بالضرب فيها. وهكذا، تصبح القيمة:

46 789 and 0.00 000 46789

يمكن كتابتها بصيغة رمزية مفهومة للمهندسين على النحو التالي:

4.6789E + 4 and 4.6789E-6

وتسجل الكميتين السابقتين بنفس درجة دقة النسبة المئوية. وعادة ما تسجل البيانات في النظام الرقمي على هيئة "صيغة ثنائية" (binary) والأس الدليلي المستخدم هو الرقم (٢) وفي العادة يسمح بأن يكون المدى ما بين 127+ and 128-، والذي يساوي تقريباً مدى يتراوح من 10^{-38} إلى 10^{+38} (سعة الموجة).

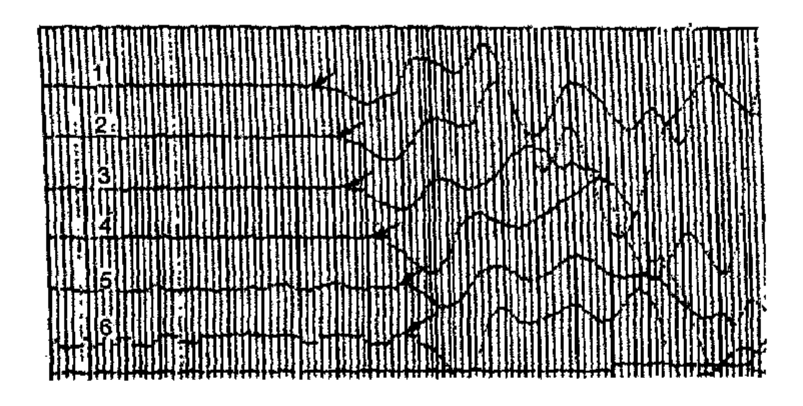
ويوضح (الشكل رقم ١١.١٠) المثال لأعمال مساحية انكسارية والتي فيها قد سجلت الإشارات لعدد ستة جيوفونات عند نقط تبعد تباعاً من "مصدر القذف"، وقد تم تكبير "خطوط الأثر" (المنحنيات" المتولدة من الجيوفونات البعيدة وذلك لتعويض انخفاضها (attenuation). ومن المؤكد والمحتم أن تكبير الإشارة، يعمل أيضاً على تكبير التشتت.

في الحقل، يمكن تقدير أزمنة وصول الموجات من الشاشة العارضة، ولكن هذا لا يتم بسهولة إطلاقاً ونادراً ما يكون مناسباً. ومن الناحية الأخرى فإن ما ينتج من نسخة ورقية من الجهاز غالباً ما تكون رديئة الجودة نسبياً. وهذه حقيقة خاصة إذا كان المنحنى منتج بطريقة "النقط المتلاصقة" (dot-matrix) وذلك يرجع إلى أن هذا النوع من المنتج يعطي عدم انتظام في مواقع كان يجب أن يكون فيها المنحنى أماناً (انظر الشكل رقم ١١.١٠).

وحيث إن هذا ينتج في وجود طباعة ذاتية داخل الجهاز، وأنه من المفترض أن يكون الجهاز له القدرة على حفظ وتخزين البيانات في صورة رقمية، فقد يكون من

المفيد اصطحاب كمبيوتر محمول مع طابعة مناسبة في المحطة الحقلية. ومع ذلك يصبح من العبث، عدم إنتاج، والاحتفاظ بنسخة ورقية حقلية.

من المفيد إضافة كمبيوتر صغير ذو كفاءة عالية داخل الأجهزة الحديثة، ومزود بأجزاء ذات قدرة عالية على الاحتفاظ بالبيانات وتخزينها. ومتوفر الآن عدد مذهل من المكاسب ومن العمليات البديلة من خلال البرامج الجاهزة التي تدار بسهولة. وعلى ذلك أصبح متعدد المواهب هي تلك الأجهزة التي أحياناً ما يكون من الصعب أو على الأقل بذل الوقت في إقناعهم بالقيام بالأعمال العادية الروتينية والأعمال المساحية المباشرة.



الشكل رقم (١١,١٠). تسجيلات سيزمية انكسارية من جهاز ذو ٦ قنوات، توضح منقارية المنحنى والتشويش.

الفصل الثاني عشر

الطريقة السيزمية الانعكاسية
SEISMIC REFLECTION

تستهلك الطريقة السيزمية الانعكاسية أكثر من ٩٠٪ من الأموال التي تنفق في العالم كله على التطبيقات الجيوفيزيائية. وتهدف معظم الأعمال المساحية إلى تحديد التراكيب الجيولوجية الحاملة للبترول على أعماق تصل إلى آلاف الأمتار مستخدمة مئات بل آلاف "المجسات" (detectors).

ومع ذلك، فقد أجريت بعض الأعمال الانعكاسية بواسطة فرق حقلية صغيرة تقوم بإجراء الدراسات حتى عمق، بضع مئات من الأمتار على الأكثر. والأجهزة التي تستخدم في هذه الأعمال المساحية هي في الأساس أجهزة بسيطة جداً لكنها الآن قد أصبحت من قوة التجهيزات بما تكافئ عمليات كثيفة وعديدة لمعامل معالجة عمليات كانت تجرى منذ ٢٠ سنة ماضية. ويحتاج الفنين المشغلين للأجهزة الحقلية إلي تعلم بعض المفاهيم النظرية التي تتحكم في البدائل المتاحة لهم.

(١٢,١) نظرية الانعكاس
Reflection Theory

تعطي أشكال "مسار الشعاع" (Ray- Path)، كما استخدمت في الفصل الحادي عشر، مفاهيم مفيدة عن زمن الأحداث الانعكاسية ولكنها لا تعطي دليلاً عن المدى والسعة (amplitudes).

(١٢,١,١) معامل الانعكاس والإعاقة الصوتية

Reflection Coefficients and Acoustic Impedances

عادة ما يرمز "للإعاقة الصوتية" للصخر بالرمز (I)، وهي تساوي كثافته مضروباً في سرعة الموجه السيزمية الأولية I=PV. وإذا اصطدمت جبهة الموجة السيزمية بمستوي فاصل بين طبقتين من الصخور لهما "إعاقة" مقدارها (I_1)، (I_2) بزاوية قائمة (شعاع عمود ساقط)، فإن سعة الموجه المنعكسة، على هيئة نسبة مئوية من سعة الموجة الساقطة (وهو ما يسمى بمعامل الانعكاس RC) يعطي بالمعادلة التالية:

$$Rc = (S_2\,V_2 - S_1\,V_1) / (S_2\,V_2 + S_1\,V_1)$$

وإذا كانت (I_1) أكبر من (I_2)، فسيكون المعامل سالب والموجه ستنعكس "بهيئة معكوسة" (Phase reversed)، وهذا يعني "نبضة سالبة" ستعود حيث أن "النبضة الموجبة" قد أرسلت والعكس بالعكس.

وتتناقص كمية الطاقة المنعكسة أولاً وعندئذ تزيد مع زيادة زاوية السقوط. وإذا كانت السرعة في الوسط الثاني زائدة عنها في الوسط الأول، فسيكون هناك انعكاس كامل في النهاية ولا يوجد موجات مرسلة (العنوان رقم ١١,١,٥). ومع ذلك، فإن معظم الأعمال المساحية الصغيرة تستخدم موجات منعكسة بالقرب من العمود الساقط.

(١٢,١,٢) الترحيل العمودي Normal Moveout

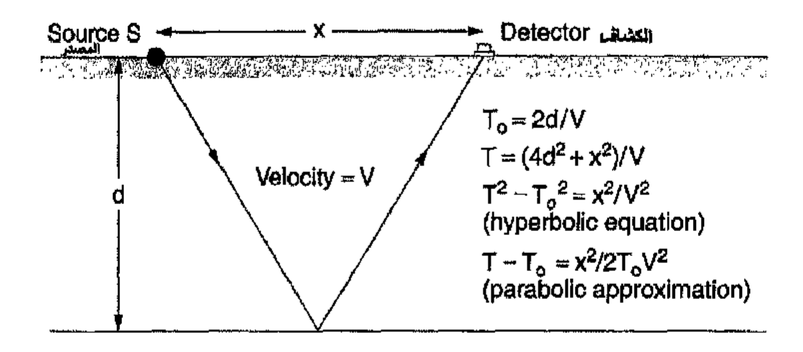
لا يمكن استخدام العمود الساقط الحقيقي في الأعمال المساحية، حيث يمكن "للمجس" عند "نقطة القذف" أن يتحطم (أو يصيبه عطل خطير) أو يتعرض بالتأكيد لذبذبات عنيفة، وهذا يؤدي إلى عدم إمكانية استخدام كامل التسجيل. وعندئذ تزاح الجيوفونات من المصادر الأخرى وتجرى التصحيحات الهندسية (travel times).

ويوضح الشكل رقم (١٢,١) الانعكاس من مستوي فاصل أفقي بين طبقتين، على عمق (d) إلى جيوفون على مسافة (X) من المصدر. وتتأسس معادلة "القطع الزائد" (hyperbolic) الصحيحة والتي تربط "زمن الانتقال" (T) بزمن "العمود الساقط" (T_o)،

علـى تطبيـق نظريـة "فيثـاغورث". وفي حالـة الأعمـال "التعويـضية" (offsets) الـصغيرة، يمكـن استبدال المعادلـة الـصحيحة بتقريـب "القطـع المكـافئ"، الـذي يعطـي "الحركـة الخارجيـة العموديـة" (normal moveout) (NMO)، ($T-T_0$)، مباشـرة علـي هيئة وظيفة عمل للسرعة وزمن الانعكاس والتعويض.

$$T-T_0 = X^2 / 2V^2 T_0$$

حيث (V) عادة تزيد مع العمـق و (T_0) دائماً تزيـد أيـضاً، (NMO) تقـل (أي أن منحنيات NMO تصبح مسطحة) مع العمق.



الشكل رقم (١٢,١). طريقة اشتقاق معادلة الحركة العادية للانكسار الأفقي.

ويمكن أن ترى الاصطفافات المنحنية الناتجة من انعكـاس الإحـداث أو الوقـائع، على الكثير من تـسجيلات القنوات المتعـددة (الـشكل رقـم ١٢,٢). ومـن أكثر الطـرق مـصداقية في التفريـق بـين الانعكاسـات الـضحلة والانكسـارات هـي طريقـة "الانحنائيـة" (Curvature).

(١٢,١,٣) سرعة ديكس Dix Velocity

إذا كان هناك عديد من الطبقات المختلفة فوق "عاكس" (reflector)، فإن معادلة (NMO) ستعطي "الجذر المتوسط التربيعي" (R M S) للسرعة والتي تحدد بالمعادلة:

$$V^2_{RMS} = (V^2_1 t_1 + V^2_2 t_2 \ldots + \ldots V^2_n t_n) / T_n$$

حيث (t_n) هي زمن الانتقال خلال طبقة معينة رقمها (n^{th})، والسرعة V_n، والزمن الكلي للانتقال (T_n) إلى قاعدة الطبقة رقم (n^{th}).

ويمكن حساب السرعات البينية للفترات الفاصلة من سرعات R M S مستخدماً صيغة (D i x) :

$$V^2_{Dix} = (V^2_{n-1} T_{n-1} - V^2_n T_n) / (T_{n-1} - T_n)$$

وتشير الحروف النازلة في المعادلة السابقة (n-1)، (n) إلى القمة والقاع للطبقة رقم (n^{th}) على التوالي. والسرعات (RMS) عادة أعلى قليلاً من المتوسط الحقيقي للسرعات، حيث أن تربيع السرعات العالية يزيد من تأثيرها على المتوسط.

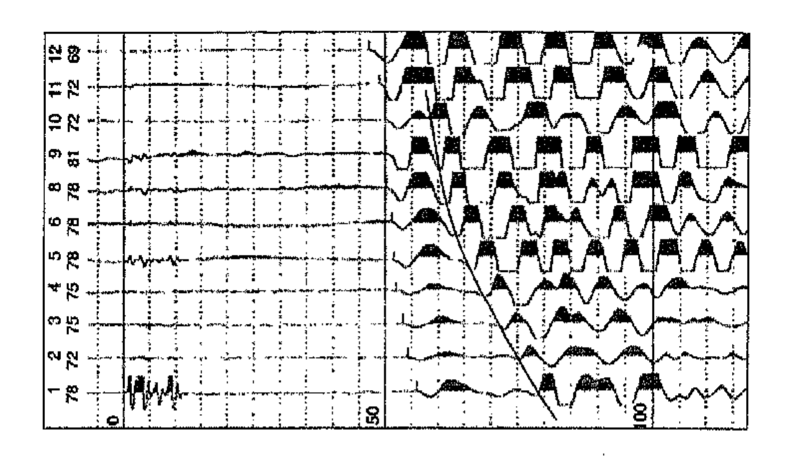
ويمكن أن تنشأ أخطاء كبيرة إذا استخدمت سرعات (RMS) مباشرة في إجراء عمليات تقدير العمق، ولكن هذه بصفة عامة أقل من الأخطاء الواردة من استخدام معادلة (NMO) لتقدير السرعة مستخدماً الانعكاسات من الأسطح الفاصلة بين الطبقات التي قد تكون غير أفقية. وقد لا تساعد كثيراً تحويلة (Dix) في هذه الحالات.

(١٢,١,٤) تأثير ميل الطبقات Effect of Dip

إذا وضع المصدر على مركز انتشار الجيوفون، فإن المنحنيات التي يمكن الحصول عليها من أسطح فاصلة أفقية ستكون متماثلة حول نقطة المصدر. ومع ذلك، إذا كان للسطح العاكس زاوية ميل متجانسة (α)، فإن الاختزال في مسار الانتقال على جانب الميل الأعلى للقذفة يعادل إلي حد ما "التعويض" (offset)، وسيكون بعض أزمنة الانتقال أقل من زمن العمود الساقط (الشكل رقم ١٢,٣).

وقد سجل أقل زمن (2d.cos (α)/v) عند مسافة مقدارها (2d.sinα) من "نقطة القذف" على جانب الميل الأعلى. وتصعد الأشعة المنعكسة رأسياً إلى هذه النقطة،

والتي حولها تكون حركة المنحنى متماثلة. ويمكن أن يكشف تأثير الميل في الأعمال المساحية الانعكاسية الضحلة فقط حالات الميل الشديد للطبقات أو في حالات الانتشار الواسع للموجات.

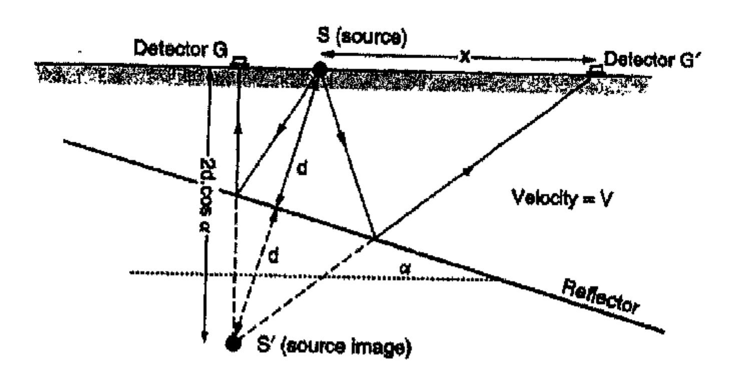


الشكل رقم (١٢,٢). تسجيل معدل من جهاز سيزموجراف يوضح الوضع المنحنى للانعكاس (الخط الثقيل). وتنشأ التأثيرات المبكرة عن طريق الانكسار. لاحظ عند القناتين (١١)، (١٢) تعلو الموجه ذات الانكسار الشديد موجة الانعكاس. وعرض المساحة المتغيرة المستخدمة شائعة لعمل الانعكاس حيث يتركز مضاهه خط بخط، على الرغم من فقد بعض المعلومات في حالة حدوث تطابق.

(١٢,١,٥) الانعكاسات المتعددة (المركبة) Multiple Reflections

يمكن للموجه المنعكسة لأعلى مدى واسع من الأسطح الفاصلة التحت سطحية أن تنعكس إلى أسفل مرة أخرى من سطح الأرض وعندئذ تعود من نفس السطح الفاصل. وهذا ما يسمى ببساطة "التعددية المركبة" (multiple) (الشكل رقم ١٢,٤).

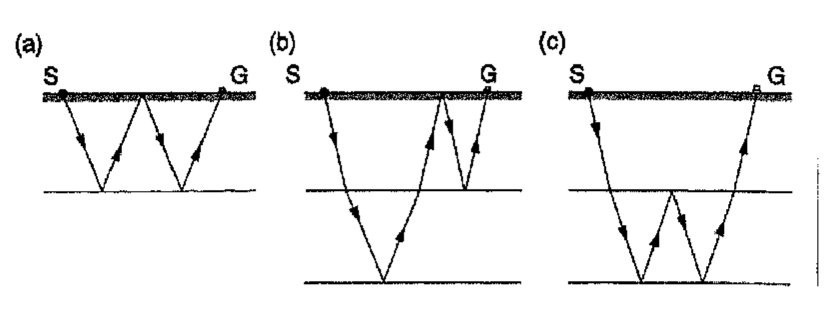
ويصعب تعريف هذه "التعددية المركبة" من مجرد خط أثر منفرد. ويمكن أحياناً تميز تسجيلات الأجهزة لديها "حركة خارجية" (moveouts) مناسبة للانعكاسات الضحلة وعلامات زمن بسيطة مع موجاتها الأولية.



الشكل رقم (١٢,٣). تأثير الميل على تسجيل منفرد. وتنعكس الأشعة من سطح مائل وكأنها مشتقه من صورة للنقطة (S) عند العمق (2d.cosα) تحت السطح، حيث (d) هي المسافة العمودية من نقطة القذف إلى سطح الانفصال. العمود الساقط لزمن المسار هي (2d/v) ولكن أقصر مسار للزمن هي للشعاع العمودي بعد الانعكاس.

(١٢,٢) الأعمال المساحية الانعكاسية
Reflection Surveys

لا تصل الموجات المنعكسة أولاً أبداً، ولذلك فمن المؤكد أن الأحداث الانعكاسية نادراً ما ترى. ويمكن استخدام تقنيات صناعة البترول لتحسين النسبة بين الإشارة والتشويش في الأعمال المساحية الضحلة وذلك بدمج جيل بسيط من البرامج المستخدمة في البرنامج الأصلي المزود به الأجيال الحديثة من أجهزة السيزموجراف ذات ١٢– قناة و٢٤ – قناة تسجيل.



الشكل رقم (١٢,٤). مسارات الانعكاس المتعددة (المركبة).

(١٢,٢,١) أطوال الانتشار Spread Lengths

عادة ما يتم التحكم في المسافة بين المصدر وأقرب جيوفون في الأعمال المساحية الضحلة عن طريق مستوى قوة المصدر (وذلك للاحتياج للحفاظ على هذا الجيوفون وحمايته من التلف) ويمكن أن تكون ٢ متر على الأقل في حالة استخدام المطرقة. وحتى في حالة استخدام المتفجرات أو إسقاط المطرقة (الثقل) الثقيل، فإن الحد الأدنى للأعمال التعويضية الأكثر من ١٠ أمتار ليست عادية في حالة الأعمال الانعكاسية الضحلة.

ويمكن أن يكون الانتشار الانعكاسي أقصر بكثير من الانتشار الانكساري المستخدم في سبر (الفحص الدقيق) أعماق متشابهة، ولكن مع المصادر القوية المؤثرة واستخدام التسجيل متعدد القنوات يمكن أن يصل بعد الجيوفون الأبعد حتى مسافة أكبر من ١٠٠ متر من المصدر. ويمكن تحديد مدى الانتشار المناسب فقط عن طريقة الخبرة، حيث يعتبر زمن وصول سلاسل موجات التشويش المصاحبة "للموجة الموجة" وأي موجات منكسرة قوية من أهم العوامل الهامة المؤثرة في هذا الشأن. ويجب أن تبدأ الأعمال الحقلية باختبارات لتصميم نظام معين وذلك لاختبار "أزمنة الوصول" هذه عن طريق استخدام نظام انتشار طولي.

(١٢,٢,٢) المصفوفات Arrays

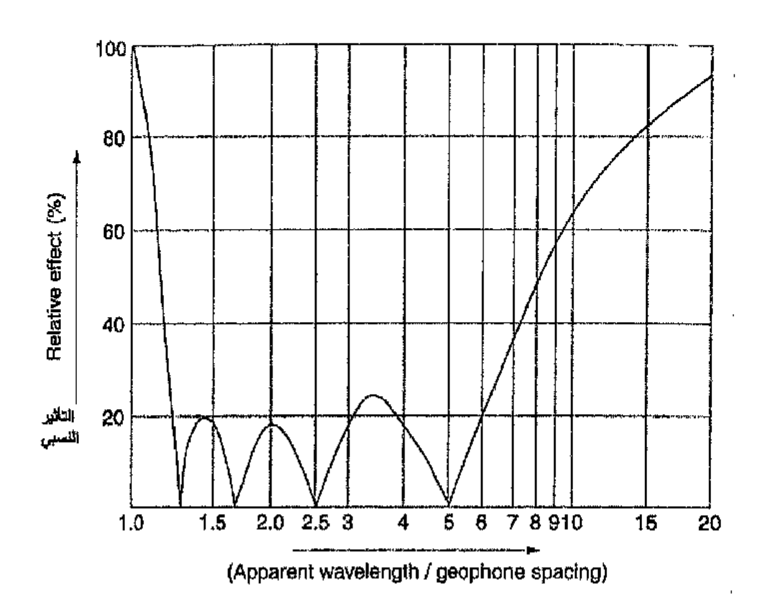
في حالة المسح السيزمي المثالي فإنه يجب أن تصل الطاقة المنعكسة بعد مرور الموجات القريبة من السطح (دور الأرض والمنكسرات) ولكن هذا لا يمكن أن يكون محتملاً إذا كان عمق الدراسة صغيرة جداً. وفي هذه الحالات، فإنه يمكن أن تتصل الجيوفونات في صفوف بكل قناة تسجيل.

وستصل الموجات المنعكسة، التي تصل رأسية في معظمها إلى جميع الجيوفونات في الترتيب في نفس الوقت تقريباً ولكن سوف تصل الموجات الموجه على فترات زمنية مختلفة وتولد إشارات من الممكن أن تتداخل وتؤثر سلبياً.

وتتحدد درجة التأثير التي يتأثر بها "تهوين" (attenuation) الموجه بالمصفوف عن طريق "تأثيرها النسبي" (relative effect, RE) بالمقارنة بتأثير نفس عدد الجيوفونات المتواجدة معاً في مركز الترتيب.

ويوضح الشكل رقم (١٢,٥) الاختلاف في التأثير النسبي (RE) مع "طول الموجه الظاهري" (apparent wavelength) (الذي يساوي طول الموجة الحقيقي في حالة الموجات المباشرة، direct wave)، للترتيب الخطية المكونة من خمسة جيوفونات متساوية المسافة البينية علي خط ناحية "نقطة القذف" (shot point). وتنتج المصفوفات الغير خطية منحنيات أكثر تعقيداً.

المصفوفات البسيطة مفضلة في الحقل، حيث أنه أثناء إعداد المصفوفات المعقدة تحدث أخطاء بسهولة. ويتناسب طردياً المدى الترددي الذي يحدث بعده تهوين "للموجات الموجهة" مع طول الترتيب، ويمكن أن يكون من الضروري أن تتداخل الجيوفونات في الصفوف المتجاورة. وليس من المعتاد أن يستخدم أكثر من خمسة جيوفونات في كل صف لكل ترتيب في الأعمال المساحية الضحلة.



الشكل رقم (١٢,٥). التأثير النسبي لمصفوفة مكونة من خمسة جيوفونات موضوعه على مسافات متساوية. ويمكن الوصول إلى مستوى ١٠٠٪ مع مسافة بينية صفرية بين الجيوفونات. وتساوي طول الموجه الظاهرية طول الموجه الحقيقة مقسوماً على جيب الزاوية بين جبهة الموجه وسطح الأرض، وهي تساوى ما لا نهاية للموجة التي ترتفع رأسياً، وتساوي طول الموجة الحقيقية للموجة المباشرة.

(١٢,٢,٣) مصفوفات القذف Shot Arrays

لم تصمم الأسلاك (كابلات) السيزمية التي تستخدم في الأجهزة ذات ١٢ أو ٢٤ قناة بمصفوفات في الذاكرة، وليس هناك نموذج للروابط مصنع ومجهز من قبل لربط الجيوفونات بعضها ببعض وربطها بالكابل. ويمكن أن يكون من الأسهل استخدام "مصفوفات القذف" كبديل لذلك.

عادة ما تتضمن "مصفوفة القذف" التي تستخدم فيها المفرقعات في نفس الوقت تفجير شحنات موضوعة بشكل يشبه الترتيب التقليدية للجيوفونات. وإذا استخدم

"مصدر للصدمات" مع تهذيب الجهاز وتعديله، يمكن الحصول على نفس التأثير عن طريق إضافة النتائج المتراكمة معاً والتي تم الحصول عليها من الصدمات عند مختلف المواقع. وهذه أسهل وأبسط الطرق للإقلال من تأثير الموجات السطحية عند استخدام المطرقة.

(١٢,٢,٤) القذف عند نقطة متوسطة Mid-Point Shooting

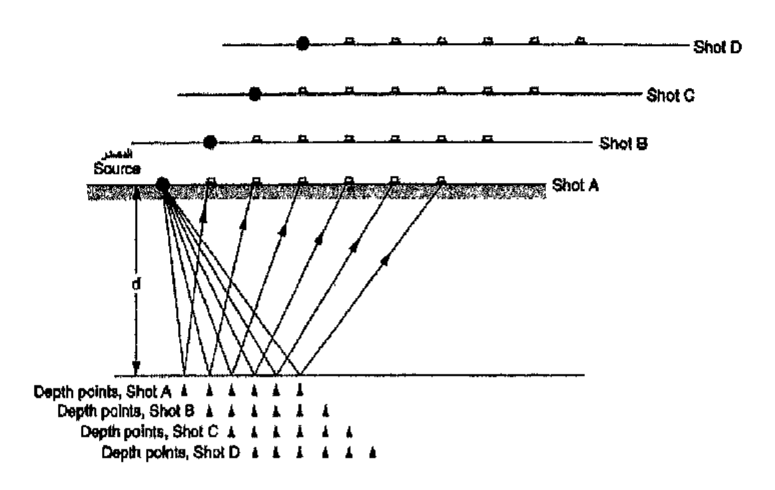
يعتبر تحسين النسبة بين الإشارة والتشويش عن طريق إضافة "خطوط الأثر" وإرتصاصها معاً (stacking) من الأساسيات في الأعمال المساحية الانعكاسية العميقة. وفى الأعمال المساحية الضحلة تستخدم هذه التقنية عادة لتهذيب النتائج التي تم الحصول عليها مع المصدر الصحيح ومواضع "المجسات" (detector). ومع ذلك في حالة ما تم تسجيل البيانات بطريقة رقمية فإنه يمكن إجراء التصحيحات الخاصة بـ (NMO) (على الرغم من عدم أجرأها في الحقل) للخطوط والمنحنيات المتولدة (المنتجة) من مختلف مجموعات المصدر والمستقبل معاً.

وتستخدم هذه التقنية عادة بتجميع عدد من "خطوط الأثر" معاً والتي لها نفس النقط المتوسطة بين المصدر والمستقبل (النقط المتوسطة العادية أو خطوط CMP)، وذلك بتطبيق التصحيحات ثم تطبيق الارتصاص.

يحدد عدد خطوط الأثر المتجمعة معاً في اصطفاف CMP "ثنية التغطية" (fold of coverage) . تكون ثلاثة "خطوط الأثر" (ثلاث منحنيات) أثر واحد يمثل " تعويض – صفري اصطناعي (synthetic zero offset) يتكون من اصطفاف ثلاثي الثنيات ويقال أنه يوفر ٣٠٠٪ "تغطية" (cover). ويمكن الحصول على النهاية العظمى للثنية، ما لم تتحرك "نقطة القذف" وخط الجيوفون معاً بقدر جزء من المسافة البينية بين الجيوفونات، وتساوي نصف عدد قنوات البيانات.

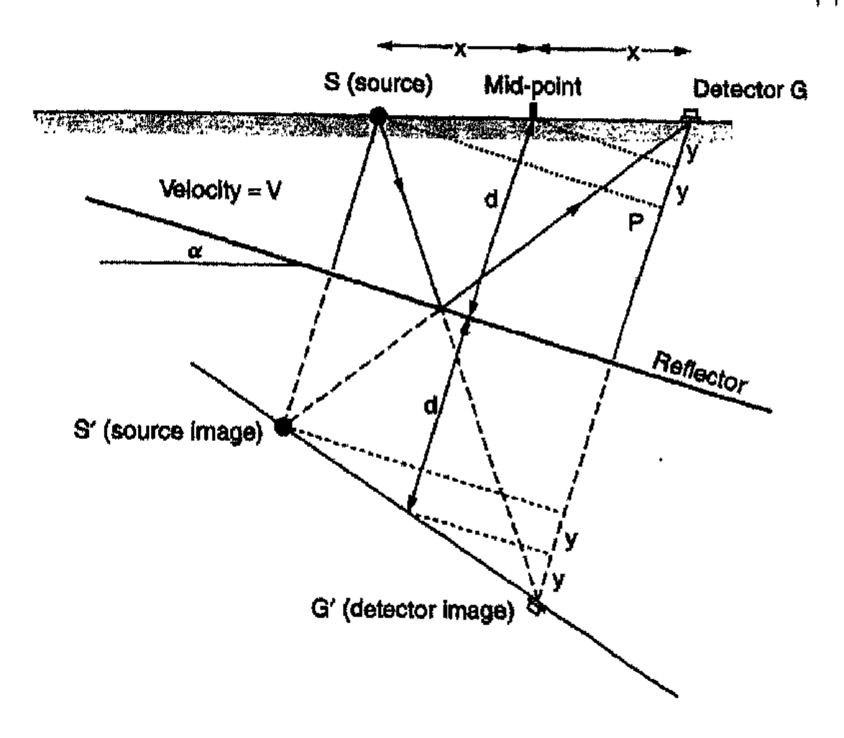
يوضح الشكل رقم (١٢,٦) مواضع كل من الجيوفونات المتعاقبة والمصدر عندما يستخدم الجهاز ذو الستة قنوات للحصول على ٣٠٠٪ تغطية. ومتاح استخدام

كابلات خاصة ودوائر تفتح وتغلق في الأعمال المساحية الانعكاسية، ولكن الأعمال الحقلية الخاصة (CMP) باستخدام الأجهزة للأعمال المساحية بطيئة جداً ومرهقة. والاحتياج إلي ضم "خطوط الأثر" المتولدة من القذف المتكرر المختلف جعل من الصعوبة بمكان إجراء معالجة الـ (CMP).



الشكل رقم (١٢,٦). شكل تخطيطي (CMP) يوضح مواضع كل من الجيوفونات المتعاقبة والمصدر مع استخدام جهاز ٦ قنوات. (A)، (B)، (C) و(D) هي مجموعة متقدمة إلى اليمين لاحظ أن المسافة بين نقطتي الانعكاس (نقاط العمق) على سطح الانفصال تساوي فقط نصف المسافة بين مجموعات الجيوفونات على السطح. ليس لنقط القذف (A)، (D) نقاط عمق في العادة.

يختلف الشكل الهندسي للقذف CMP عن ذلك الخاص "بثنية التغطية المفردة"، ويختلف بالتالي تأثير ميل الطبقات (الشكل رقم ١٢,٧). وإذا كان ميل الأسطح الفاصلة للطبقات عند زاوية (α)، والسرعة المستنتجة من اصطفاف الـ CMP تساوي ($V/ \cos \alpha$) و"العمق" يساوي طول العمود الساقط للشعاع من نقطة متوسطة شائعة على السطح الفاصل بين الطبقات.



الشكل رقم (١٢,٧). تأثير ميل الطبقات على "القذف" (CMP). على عكس اليمل على تسجيل منفرد (في الشكل رقم ١٢,٣)، تختلف بواقع نقاط القذف وكذلك الجيوفونات عن اختلاف خطوط المسارات، مواقع نقاط القذف والكشافات متساوية وتتحرك "نقطة العمق" على المنعكس أعلى الميل مع زيادة عمليات الأستعواض.

وعلى النقيض من "الثنية الفردية" المجمعة للعنوان رقم (١٢,١,٤)، أقل زمن هو المصاحب للعمود الساقط للشعاع. وهدف الاصطفاف (stacking) هو إنتاج "خط أثر" سيزمي مختزل للتشويش وقريب من "خط أثر" العمود الساقط، أي أنه "خط أثر" قد أنتج ليشمل كل من المصدر والكشاف متطابقين.

حلت الـ CMP الابتدائية محل "اللفظة الاوائلية" (acronym)، CDP (نقط العمق الشائعة) (common depth point) المستخدمة لنفس الطريقة. وبالإشارة إلى نقط العمق

(نقط الانعكاس) كما هو شائع ومعتاد تدل ضمنا على أن جميع الانعكاسات في التجمع تأتي من نفس النقطة على الحد الفاصل للطبقات التحت سطحية، وهذا صحيح فقط في الحد الفاصل الأفقي.

(١٢,٢,٥) التحويل إلى العمق Depth Conversion

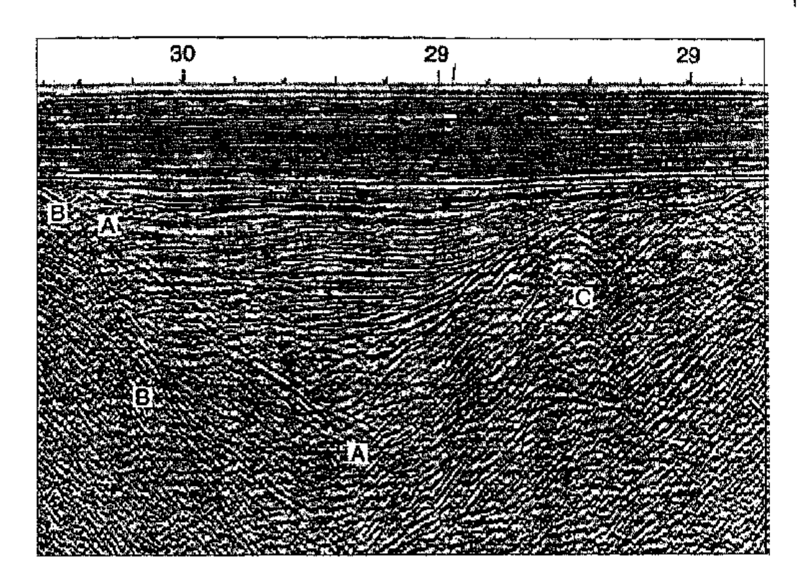
تسجيل الوقائع والأحداث الانعكاسية ليس في العمق ولكن في "زمن المسار المزدوج" (two-way time., TWT). والأمر يحتاج إلى تحديد سرعات لتحويل الزمن إلى أعماق، ولكن سرعة (DIX) (فقرة ١٢,١,٣) التي يتم الحصول عليها من منحنيات NMO قد تتراوح نسبة الخطأ من ١٠ إلى ٢٠٪، وحتى إن كانت أسطح الانعكاس أفقية.

ويجب معايرة الاستقراءات مع بيانات البئر (الذي قد يكون محفوراً في المنطقة) كلما أمكن ذلك، ويجب أن يكون فريق العمل الحقلي دائماً مترقباً لانتهاز الفرص لقياس السرعات الرأسية مباشرة.

(١٢,٢,٦) التشويه الهندسي Geometric Distortion

عادة ما تعرض البيانات السيزمية الانعكاسية على قطاعات معدة باستخراج الأعمال، واحدا تلو الآخر، واستخراج صفحات ورقية رأسياً، والخطوط التتبعية من تجمعات CMP المجاورة.

ويتعرض هذا القطاع المنتج للتشويه. والأشياء الاصطناعية مثل إزاحة أسطح الانعكاس، وأشكال الحيود، "والروابط الانحنائية" الموصوفة في الفقرة (١٠,٣,٢) مثل التي تؤثر في قطاعات الرادار، تظهر أيضاً في الأشكال السيزمية، كما يشاهد في الشكل رقم (١٢,٨).



الشكل رقم (١٢,٨). صورة توضح التشوه الهندسي في قطاع سيزمي. ويظهر تركيب جيولوجي منخفض (graben) يسفل عدم توافق.

الفصل الثالث عشر

الطريقة السيزمية الانكسارية
SEISMIC REFRACTION

تستخدم الأعمال المساحية الانكسارية علي نطاق واسع لدراسة منسوب سطح المياه الأرضية، وللأغراض الهندسية تستخدم هذه الطريقة في تحديد الطبقات الغير متماسكة (poorly consolidated) القريبة من سطح الأرض، وأيضاً تستخدم هذه الطريقة في تحديد التصحيحات القريبة من السطح "لخطوط الأثر" الخاصة بالانعكاس العميق. وعادة ما يكون أزمنة الوصول بضعة أعشار من الملي ثانية فقط، وهناك فروق ضئيلة تفصل بين وصول الأنواع المختلفة للموجه أو الموجات التي تنتقل على مسارات مختلفة. ويمكن أن نلتقط أول الموجات وصولاً، وهي عادة الموجات الأولية، بدرجة كبيرة من الثقة والصدق.

(١٣,١) المسح بالطريقة الانكسارية
Refraction Surveys

مثالياً، يجب أن تكون الأسطح الفاصلة بين الطبقات التي تحت الدراسة في المسح بالطريقة الانكسارية ضحلة، ومستوية تقريباً وميلها أقل من ١٥درجة. ويجب أن تزيد السرعة مع العمق عند كل سطح فاصل.

وستأتي عندئذ أول موجة عند سطح الأرض من الأسطح الفاصلة الأكثر عمقاً بالتتابع مع زيادة المسافة من "نقطة القذف".

(١٣,١,١) أسس الانكسارات The Principal Refractors

يوضح الشكل رقم (١١,١) سرعات الموجه الأولية للصخور الشائعة التواجد. وغالباً ما يكون مقنعاً وصف "الأرض" (ground) بمصطلحات مثل: طبقة ردم جافة، وطبقة ردم رطبة، و"صخور أساس" (bedrock) "مجواه" (weathered) أو "غير مجواة" (Fresh). ومن الصعب جداً التعامل مع أكثر من ثلاث أسطح فاصلة.

أحياناً تكون سرعة الموجه الأولية منخفضة حتى أنها تصل إلى (٣٥٠ متر / ثانية) في "طبقة الردم الجافة" (dry overburden)، وهي سرعة الصوت في الهواء، ونادراً ما تزيد السرعة في هذه الطبقة عن (٨٠٠ متر / ثانية). وهناك دائماً بطئ في الزيادة مع العمق، ومن غير المحتمل قياسها بصفة عامة، ويتبع ذلك فجأة زيادة في السرعة تتراوح بين ١٥٠٠ إلى ١٨٠٠ متر / ثانية عند مستوى منسوب المياه تحت السطح.

تصل سرعة الموجه الأولية في صخور الأساس الغير مجواة إلى أكثر من (٢٥٠٠ متر / ثانية) ولكن في الأغلب توجد طبقة انتقالية مجواه تعلو طبقة الأساس المتماسكة حيث تصل السرعة الأساسية فيها إلى أقل من (٢٠٠٠ متر / ثانية)، وعادة تزيد هذه السرعة بانتظام مع العمق حيث تصاحب قلة درجة التجوية في هذا الاتجاه.

(١٣,١,٢) الانكسار الحرج والموجه المعاكسة

Critical Refraction and Head Wave

يشير "قانون سنل" Snell's law (الفقرة ١١,١,٥ والشكل رقم ١١,٢) إلى أنه إذا كانت السرعة (V_2) أكبر من السرعة (V_1)، وإذا كانت

$$Sin(i) = \frac{V_1}{V_2}$$

فإن الشعاع المنكسر سينتقل موازياً للسطح الفاصل بسرعة مقدارها (V_2). وهذا يسمى "الانكسار الحرج" (critical refraction).

بعد حدوث "الانكسار الحرج"، ترتد بعض الطاقة إلى سطح الأرض على هيئة "موجة جبهة" (head wave) تتمثل بأشعة تترك السطح الفاصل "بزاوية حرجة". تنتقل موجة الجبهة خلال الطبقة العليا بسرعة مقدارها (V_1) ولكن، وبسبب ميلها الشديد، تظهر وكأنها تنتقل بسرعة مقدارها (V_2) قاطعة الأرض وتمتد جبهتها تحت السطح الفاصل. فهي عندئذ تلحق "بالموجة الموجهة" في نهاية الأمر، على الرغم من مسار انتقالها الأطول. المسافة "الحرجة أو المتقاطعة" (cross-over or critical) التي يتساوى فيها أزمنة الانتقال لكل من الموجات الموجهة والموجات المنكسرة من المعادلة الآتية:

$$X_c = 2d\sqrt{\frac{(V_2+V_1)}{(V_2-V_1)}}$$

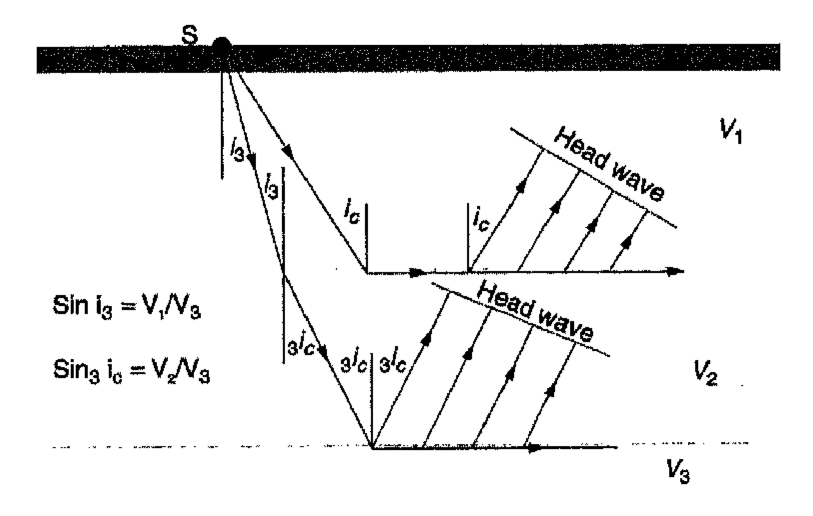
وتعطي هذه المعادلة الأساس لطريقة بسيطة لاستقراء النتائج الانكسارية. ودائماً ما تكون (Xc) أكثر من ضعف عمق السطح الفاصل وتكون كبيرة إذا كان العمق كبير أو الفرق في السرعات صغيرة. وأحياناً ما يستخدم أيضاً "الزمن الحرج" (critical time)، الذي تم الحصول عليه بقسمة المسافة الحرجة على سرعة "الموجه الموجهة".

وأحياناً يستخدم أيضاً مصطلح "المسافة الحرجة" لأقل مسافة ترتد عندها الانكسارات إلى سطح الأرض، وهي المسافة المقاسة من "نقطة القذف" التي عندها تصل الطاقة بعد الانعكاس عند "الزاوية الحرجة". وهذا الاستخدام ليس شائعاً بين الفريق الحقلي حيث تصل الانكسارات بعد "الموجة الموجهة" عند هذه النقطة، ولبعض المسافة خلفها، وهذا من الصعب ملاحظته.

وإذا احتوت المنطقة على أكثر من سطح فاصل (كما في الشكل رقم ١٣،١)، فإن الشعاع الذي انكسر بالزاوية الحرجة عند أسفل سطح فاصل يترك مستوي سطح الأرض عند زاوية (i_n) والتي تعطي بالمعادلة:

$$Sin(i_n) = \frac{V_1}{V_n}$$

وهكذا، فإن الزاوية التي عندها تترك الطاقة سطح الأرض "للانكسار الحرج" النهائي عند سطح الانفصال العميق تعتمد فقط على السرعات في أعلى وأخفض طبقات موجودة، وليست على السرعات البينية. وحتى وبرغم من ذلك فهذه نتيجة مدهشة وبسيطة، فيصبح الاستقراء المتقاطع للنتائج معقداً في حالة وجود الطفات المتعددة، ويفضل بصفة عامة استخدام طريقة "زمن الاعتراض" (intercept-time) التي سنتعرض لها في الفقرة (١٣,٢) في التفسير الحقلي.



الشكل رقم (١٣,١). يوضح الانكسار الحرج على سطحي انفصال في وسطين مختلفين حيث $\sin i_c = V_1/V_2$.

(١٣,١,٣) أطوال انتشار الانكسار Lengths of Refraction

يعرف خط الجيوفونات المرتبة بغرض الأعمال المساحية الانكسارية "بالانتشار" (spread)، أما مصطلح "ترتيب" (array) يحتفظ به للجيوفونات التي تغذي قناة التسجيل المفردة. المصفوفات شائعة الاستعمال في الأعمال الانعكاسية ولكنها غير معروفة تقريباً

في الأعمال المساحية الانكسارية حيث يحتاج الأمر إلى الحصول على أقصى حدية لموجات محتملة.

ويتم الحصول علي معلومات وافية عن "الموجة المباشرة" وتغطية معقولة للطبقات المنكسرة وذلك إذا كان طول الانتشار يمثل حوالي ثلاثة أضعاف "المساحة المتداخلة" (cross- over distance).

تنص الطريقة المجربة ولكنها غالباً غير دقيقة على أن "طول الانتشار" أو طول خط الجيوفونات يجب أن يكون مكافئ لثمانية أضعاف عمق الانكسار المتوقع.

(١٣,١,٤) مواضع القذف Positioning Shots

في معظم الأعمال المساحية الانكسارية، يتم فيها "القذف القصير" (short shots) عن طريق التفجير في موقع قريب جداً من أطراف امتداد الانتشار. ويكون الاستقراء أو التفسير السيزمي بسيطاً إذا تم هذا "القذف" واقعياً عند موضع الجيوفون النهائي حتى يمكن تسجيل أزمنة الانتقال بين نقط القذف مباشرة.

وإذا أستخدم هذا النظام فيجب أن يتحرك الجيوفون الموجود عادة عند موضع القذف القصير في اتجاه الجيوفون التالي بمسافة تقدر بنصف المسافة البينية بين الجيوفونات وذلك قبل إجراء عملية التفجير عملياً. (وبعد ذلك يعاد إلى مكانه مرة أخرى). وبذلك يتجنب تحطيم الجيوفون ويتم الحصول على معلومات زائدة عن الموجه الموجهة.

ويوضع "القذف الطويل" (long shots) على مسافة بعيدة بقدر كاف عن "خط الانتشار" الخاص بجميع الموجات التي تصل أولاً من خلال الانكسار، وعندئذ قد يكون توافر بيانات "القذف القصير" هام قبل إمكانية تقرير إجراء "القذف الطويل" التعويضي. ويحتاج الأمر إلى قياس دقيق لمسافات "القذف الطويل" وذلك فقط إذا كان مطلوب الحصول على تغطية مستمرة، وإذا كان "القذف الطويل" لانتشار ما موضوع

في نفس المكان الخاص بالقذف القصير أو المركزي لانتشار آخر. وإذا استخدمت المتفجرات، فقد يكون من المفيد أثناء ذلك استخدام "القذف الاستعواضي الطويل" إذا كان ذلك سيسمح بالتفجير في المياه (الفقرة ١١,٢,١).

(١٣,١,٥) القذف المركزي Centre Shots

قد تلحق بالمعلومات التي يوفرها شكل الأريع قذفات المعروفة "قذفات مركزية" إضافية (Centre shots) أي قذفات في منتصف (مركز) خط الانتشار. القذفات المركزية مفيدة بصفة خاصة إذا كان هناك اختلافات واضحة في الاستقراءات على الطرفين المتقابلين لامتداد الانتشار، وخاصة إذا بدا ذلك محتوياً على أرقام مختلفة من الانكسارات.

وقد يجعله ذلك ممكناً للحصول على تقدير أكثر مصداقية للسرعة خلال الطبقات المتوسط المنكسرة أو تقويم رصد "الترقيق" (thinning) الذي يميز الطبقة المنكسرة المتوسطة التي قد تكون مختفية عند أحدى أطراف خط الانتشار، وذلك بالاستعانة بالانكسار من الأعماق الأكثر عمقاً.

ويتم الحصول على تقدير العمق ومصداقيته والذي لا يعتمد على الافتراض حول الطرق التي فيها يختلف السمك لمختلف الطبقات، على طول امتداد الانتشار، وسوف يكون هناك بيانات زائدة عن سرعة الموجة الموجهة.

ويستخدم "القذف المركزي" بصورة أقل من تلك المرغوب فيها. ويعد المجهود الزائد المبذول تافهاً إذا ما قورن بالعمل في فرد الأسلاك ورص صفوف الجيوفونات على امتداد الانتشار، وبذلك يمكن الحصول على معلومات إضافية رخيصة.

(١٣,١,٦) حواشي التسجيلات الحقلية Annotation of Field Records

يمكن (بل يجب) إنتاج نسخة ورقية من التسجيلات في الحقل من معظم أجهزة السيزموجراف المستخدمة الآن في الأعمال المساحية الانكسارية. وتشمل عشرات التسجيلات العديدة المنتجة في يوم العمل الحقلي على: الإعادة وتكرار العمل،

والمراجعات والاختبارات بالإضافة إلى أنه يجب إتمام واستكمال وضع "الحواشي" (annotation) بعناية على عدد من "الانتشارات" (spreads) المختلفة وذلك إذا كان لابد من تجنب اللبس. وتشمل هذه الحواشي بوضوح على التاريخ واسم الخبير الفني الذي يقوم بالعمل الحقلي، وموقع منطقة العمل وعدد الانتشارات. ويجب تسجيل الاتجاه وكذلك يجب تحديد موقع الجيوفون رقم (١).

وما لم تكون المسافة البينية بين الجيوفونات متساوية تماماً، فإنه يجب إضافة رسم تخطيطي يوضح موقع نقطة "القذف" (shot) ومواقع الجيوفونات. وإذا كان هناك احتمال لتغير الفترات الزمنية البينية بين خطوط الزمن على التسجيلات أو هناك زمن متغير، فإنه يمكن إجراء "الأعمال التعويضية" (offsets)، كما يجب تسجيل هذا الوضع. وهذا ما يحدث أتوماتيكياً الآن في كثير من الحالات.

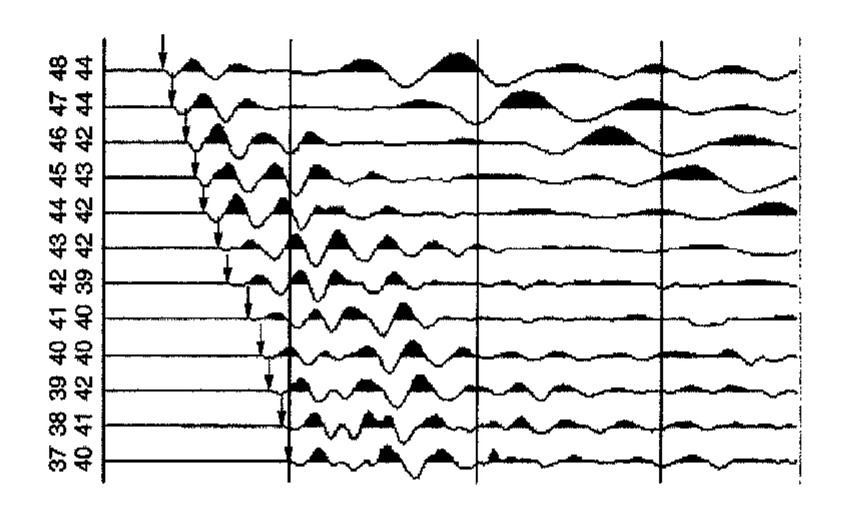
والعناصر الأخرى للحواشي اختيارية. وغالباً لا يتم تسجيل التكبيرات المكتسبة ووضع المرشح وعلى الرغم من أنه قد يكون ذلك مفيداً. ويمكن أن يكون تسجيل عدد "القذفات" أو التفجيرات أو الارتطامات التي تمت في التسجيل الواحد أمرا مهما أثناء إجراء تهذيب البيانات عن طريق الأجهزة المستخدمة في هذا الشأن. وبالطبع يجب دائما تسجيل ملاحظات عن المعالم الأساسية لجيوفونات الموجة الثانوية عند بعض النقط أو خصوصيات المواقع لبعض الجيوفونات.

ويمكن طبع كثيراً من العناصر السابقة الذكر على نسخة ورقية مباشرةً بشرط إدخالها أولاً على جهاز المسح السيزمي. وهذا غالباً ما يكون عملاً أكثر إرهاقاً، ويتولد عنه أخطاء أكثر من كتابة المعلومات ببساطة على كل تسجيل باليد.

(١٣,١,٧) التقاط الموجات الانكسارية الوافدة Picking Refraction Arrivals

يعتمد التقاط وتسجيل الموجة الانكسارية التي تصل أولاً على التقدير الجيد للموجات الوافدة (الانقطاع الأول) (الشكل رقم ١٣,٢). ويمكن أن يكون ذلك صعباً

عند الجيوفونات البعيدة حيث تكون النسبة بين الإشارة والتشويش ضئيلة أي زيادة نسبة التشويش. وقد يحدث أن تكون القمم والقيعان الأخيرة لنفس مسلسل الموجة أكثر قوة ، وأحياناً يكون هناك احتمال للعمل العكسي مبتدأ من هذا المسلسل ولتقدير موضع الانقطاع الأول.



الشكل رقم (١٣,٢). يوضح جزء من تسجيل انكساري لجهاز متعدد القنوات حيث تمثل الأسهم مواضع الانكسارات الأولى.

ومع ذلك ، ولأن الترددات العالية يمكن أن تمتص اختيارياً في الأرض ، فإن المسافة بين الانكسار الأول و أي قمة لاحقة تزداد تدريجياً بزيادة المسافة من المصدر. وعلاوة على ذلك ، يتأثر "خط الأثر" البعيد عن الانقطاع الأول ، بالعديد من الموجات القادمة الأخرى بالإضافة إلى تأثرها بالأجزاء الأخيرة من سلسلة الموجه الأولي (P) ، وسوف يعدل ذلك كل من موقع القمة والقاع. أن استخدام المميزات الأخيرة في تقدير زمن وصول الموجه الأولى يجب أخذه دائماً في الاعتبار على أنه بديل ضعيف لإجراء عملية "الالتقاط المباشر" (direct picking).

(١٣,١,٨) أشكال الزمن والمسافة البيانية Time- Distance Plots

تتكون البيانات المستخرجة من الأعمال المساحية الانكسارية من مجموعة من الأزمنة (عادة أزمنة الوصول الأولي) مقاسة عند الجيوفونات عند مختلف المسافات من موقع المصدر.

وحيث أن هذا يتم توقيعه في شكل محوره الرأسي يمثل الأزمنة ومحوره الأفقي يمثل المسافة (T-D Curve)، فإن تدرج أي خط يكافئ السرعة التبادلية، بمعنى أن الانحدار الشديد للخط يطابق السرعات البطيئة. وتوقع كل البيانات لعمل مسحي واحد (انتشار واحد) في صفحة مفردة تمثل منطقة العمل المغطاة بالفعل بالجيوفونات (الشكل رقم ١٣,٨ المصاحب للمثال ١٣,١).

وليس من الضروري أن يوضح مواقع "القذف الطويل" (long- shot). حيث إن كل خمس مجموعات من "الموجات الوافدة " (arrivals) ومثلها مجموعة الأزمنة المختلفة المقابلة لابد من توقيعها فإن الأمر يحتاج إلى استخدام ألوان مختلفة أو رموز مختلفة للتمييز بين مجموعات البيانات الموقعة على منحنى الزمن والمسافة.

وإذا كانت أزمنة الوصول تقع في عدد من قطع الخطوط المستقيمة الواضحة والمحددة، فإنه يمكن رسم أفضل خطوط توفيقية لتحديد السرعة في الطبقات المختلفة.

وهذا ليس في الحقيقة ضرورياً إذا استخدمت طريقة استقراء "زمن الإعاقة" (intercept- time) الموصوفة لاحقاً، وسيكون من الصعب تحديدها إذا كانت " أزمنة الوصول " غير منتظمة بسبب اختلافات عمق أسطح الانكسار.

وأنه غالباً ما يكون من الأفضل رسم الخطوط خلال وصول الموجات الموجهة فقط (التي يجب أن توقع على خطوط مستقيمة)، تاركة وصول الموجات المنكسرة إما غير مرتبطة أو موصولة فقط بخطوط خفيفة بين النقط المتجاورة.

(١٣,٢) التفسير الحقلي
Field Interpretation

يعتبر الاستقراء جزء أساسي من العمل الحقلي السيزمي الانكساري وذلك يرجع إلى اعتماد النجاح في إجراء هذا المسح السيزمي على عناصر حقلية معينة مثل خط التوجيه، والمسافة بين الجيوفونات، وموقع القذف، وطول خط الانتشار، والتي يمكن أن تكون متنوعة بصفة عامة أيضاً. وعندها فقط يجري تحليل البيانات بنفس سرعة جمع المعلومات وسيكون ذلك اختياراً موفقاً.

وسيتم إجراء الاستقراء الحقلي بطريقة أسهل عن طريق استخدام برامج حاسوب يمكن تطبيقها على كمبيوتر جوال شخصي أو توظيفها في أجهزة السيزموجراف نفسها، إلا أن هذه البرامج تعتمد على نماذج بسيطة جداً وأنها لا تعفي أو تكون بديلة عن التفكير الواقعي في البيانات، أي أنها تعطي فكرة مبدئية فقط.

(١٣,٢,١) أزمنة الإعتراض Intercept Times

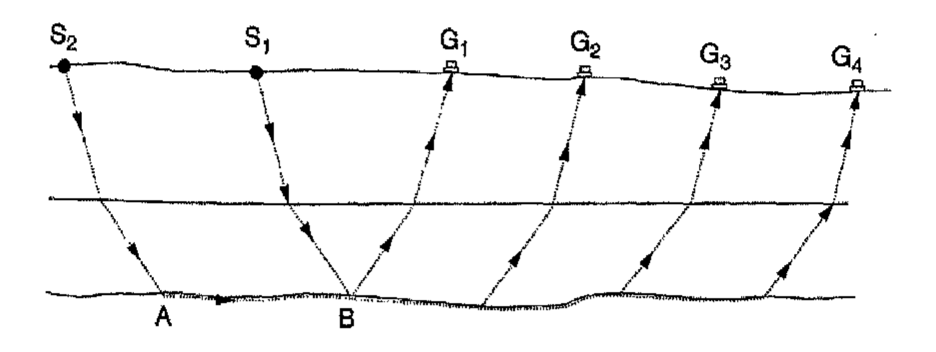
يعرف "زمن الإعاقة" (t_i) على أنه الزمن الذي يقطع فيه خط "الامتداد العائد" (back- extrapolated) لوصول الموجه الانكسارية محور الزمن. وهذا الزمن له علاقة بالسرعات وعمق الانكسار في كل حالة وتتحد هذه العلاقة عن طريق المعادلة :

$$t_i = 2d\sqrt{\left[\frac{(V_2^2 + V_1^2)}{(V_1 * V_2)}\right]} = 2\frac{d}{V_{1,2}}$$

ويتحدد مقدار السرعة ($V_{1,2}$) عن طريق هذه المعادلة. ولها وحدات السرعة وهذه السرعة تساوي تقريباً V_1 إذا كانت V_2 أكبر كثيراً من V_1. وعندئذ تكون الزاوية الحرجة تساوي ٩٠ درجة تقريباً، ويقدر زمن الإعاقة الناشئ من الشعاع المنكسر المنتقل بين سطح الأرض وسطح الانكسار بأنه قريب جداً من ضعف زمن الانتقال الرأسي. وإذا كان الاختلاف بين V_1 ، V_2 صغيراً، فإن قيمة ($V_{1,2}$) ستكون كبيرة جداً.

ويتم الحصول على "أزمنة الإعاقة" العادية عن طريق رسم أفضل توفيق للخطوط خلال أزمنة وصول الموجه المنكسرة، وحتى مع التوفيق الجيد جداً فإنه لا يوجد ضماناً لعدم تغيير عمق سطح الوسط الانكساري (refractor) في المنطقة بالقرب من "نقط القذف"، والتي منها لا يشاهد أي انكسارات.

ومع هذا فقط، إذا استخدم "القذف الطويل" فإن هناك اختلافا ثابتا بين سرعة الوصول "للقذف الطويل" و"القذف القصير" وذلك عند "نقط تقع بعيداً" عند نهاية "خط الانتشار" (الشكل رقم ١٣,٣).



الشكل رقم (١٣,٣). يوضح مسارات الانكسارات المتولدة من "القذف القصير" و"القذف الطويل" على ثلاثة مستويات طبقية.

وعندئذ يمكن الحصول على "زمن الإعاقة" وذلك بطرح هذا الاختلاف من زمن وصول موجة "القذف الطويل" عند موقع "القذف القصير" وهذا يمكن تنفيذه بدقة إذا كان هناك جيوفون موضوع في هذا الموقع عندما يتم إجراء تفجير "القذف الطويل" (المثال ١٣,١). وإذا لم يحدث ذلك فأن استخدام أقرب موجات وصلت من "القذف الطويل" يقلل المسافات التي على أساسها يجب رسم امتداد الخطوط (Fit).

(١٣,٢,٢) الطبقات المتعددة Multiple Layers

يمكن توسيع مجال تطبيق معادلة "زمن الإعاقة " ليشمل الحالات التي تتضمن عدداً من الطبقات الانكسارية الحرجة. وإذا كان "زمن الإعاقة " المصاحب للانكسار رقم (n^{th}) هو (t_n) فإن :

$$t_n = 2\frac{d}{V_{1,n+1}} + 2\frac{d_2}{V_{2,n+1}} .... + ...2\frac{d_n}{V_{n,n+1}}$$

حيث (d_n) هو سمك الطبقة رقم (n^{th}) التي تعلو السطح الفاصل للانكسار رقم (n^{th}) والذي عنده تزيد السرعة من (V_n) إلى (V_{n+1}) ويشبه تعريف مقادير السرعات $V_{m,n}$ تماماً تعريف ($V_{1,2}$) المذكور بعالية.

ويمكن تمييز تواجد الطبقات البينية عن طريق مقارنة البيانات الخاصة بكل من "القذف الطويل" و"القذف القصير" إلا أنه يستلزم توافر نقطتين على الأقل لتحديد السرعة، ويستلزم توافر ثلاثة نقاط لتوفير المصداقية والثقة في تقدير السرعة. فعلى أحسن تقدير، يمكن فحص أربعة طبقات بسهولة باستخدام نظام اُثني عشر قناة، أي ١٢ جيوفون.

ويمكن توظيف الإجراءات الحقلية المعقدة للتغلب على هذه العراقيل، فمثلاً يمكن على سبيل المثال تحريك الجيوفونات إلى مسافات مقدارها نصف المسافة البينية بعد تفجير "القذف" وإعادة استخدام نفس نقطة القذف مرة أخرى.

يصبح التقدم غاية في البطء، ولازالت المشاكل الناجمة عن طوبجرافية الأسطح المنكسرة، والطبقات المستترة والنطاقات "المحجوبة" (blind) (انظر الفقرة ١٣,٣)، متواجدة. وفي معظم الحالات، يمثل "القذف التفجيري" المتعدد داخل انتشارات معدلة، محاولة لاستخراج معلومات وبيانات أكثر مما تحتمله هذه الطريقة.

(١٣,٢,٣) تأثير الميل Effect of Dip

الأعماق المقدرة (المقاسة) من الأعمال المساحْية الانكسارية لها علاقة بمستوى ارتفاع كل من الجيوفون و"نقطة القذف"، ولذلك فإنها يجب أن تقاس للحصول على صورة حقيقية لأسطح الانكسار التحت سطحية.

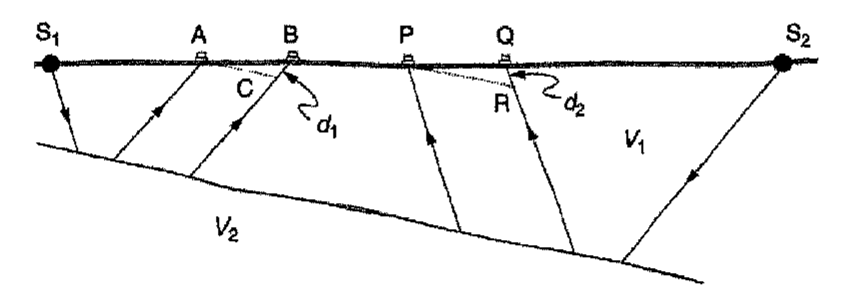
وعلاوة على ذلك تمثل هذه "الأعماق المقاسة" مسافة عمودية على"سطح الانفصال" (وليس بالضرورة أن تكون رأسية) مقاس من "نقطة القذف" أو من الجيوفون. وبهذا الشرط يمكن تطبيق الصيغة الأفقية بدون تعديل طالما كان "سطح الأرض" و"الوسط الانكساري" (refractor) متوازيان.

ولكن في الأغلب الأعم عادة ما يكون انحدارهما مختلف. ويشار إلى هذه الصيغة غالباً بمفهوم أن سطح الأرض هو الأفقي و"الوسط الانكساري" هو المائل، ولكن يمكن تطبيقها بنفس القدر إذا حدث وكان سطح الأرض ينحدر ويعلو، على سبيل المثال، منسوب أفقي لسطح المياه الأرضية.

وتحتاج معادلات "زمن الإعاقة" إلى استخدام القيمة الحقيقية للسرعة (V_2). ومع ذلك، لا تنتقل "الموجه" التي تتحرك في اتجاه الميل إلي أسفل فقط ولكنها أيضاً تتحرك إلى مسافات أبعد بسرعة (V_2) لتصل إلى أبعد جيوفون بسرعة بطيئة (V_1) في الطبقة العليا (الشكل رقم ١٣،٤).

ولذلك فإنها تصل متأخرة، بسرعة ظاهرية منخفضة. والعكس صحيح في حالة أن يكون "القذف" في مكان مائل إلى أعلى، عندما تصل "الموجات القادمة" (arrivals) إلى الجيوفونات البعيدة تكون في الواقع سابقة لتلك التي تصل إلى الجيوفونات الأقرب. ويعتمد انحدار الخط المصاحب للموجات المنكسرة والموضحة بالأشكال التي تربط العلاقة بين المسافة والزمن، على زاوية الميل (α) طبقاً للمعادلة:

$$V_{app} = \frac{V_2}{1 + Sin(\alpha)}$$



الشكل رقم (١٣,٤). يوضح الانكسار على مستوى انفصالي مائل. تصل الطاقة المنكسرة من (S_1) متأخرة عند (B) أكثر تأخراً من عند (A) ولا يرجع هذا فقط إلى عظم المسافة التي يسيرها الشعاع خلال وسط الانكسار بل أيضاً يرجع إلى المسافة الزائدة (d_1) التي يسيرها الشعاع في الطبقة الأقل سرعة. تصل الطبقة من (S_2) ميكراً عند (P) أكثر من المتوقع من زمن الوصول عند (Q) بمقدار الزمن الذي يأخذه الشعاع للانتقال مسافة (d_2) بسرعة (V_2).

وإذا حدث أن تم "القذف" عند طرفي الانتشار، فإن سرعات ظاهرية مختلفة سوف تقاس لأن علامة ميل الزاوية ستختلف. وللميول الأقل من ١٠°، فإن السرعة الحقيقية تحسب من المعادلة:

$$2/V_2 = 1/V_{up} + 1/V_{down}$$

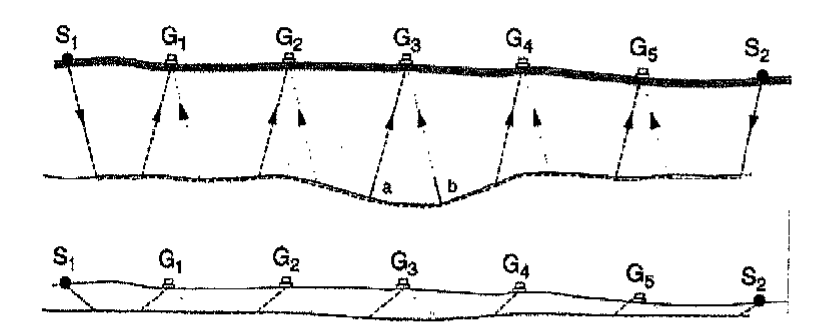
(١٣,٢,٤) تضاريس "الوسط الانكساري" والسرعات الحقيقية

Refractor Relief and True Velocities

معظم "الأوساط الانكسارية" غير منتظمة ما عدا منسوب المياه الأرضية. إذا كان هناك منخفض محلي واحد فقط في سطح مستوي لوسط انكساري، فإنه يمكن توقيع (Plot) الموجات المنكسرة القادمة من "نقط قذف" متواجدة في الجهة المقابلة على هيئة خطوط مستقيمة لها نفس الانحدار (الميل)، ويمكن أيضاً توقيع الاختلافات في "زمن الوصول" عند كل جيوفون على هيئة خط مائل بدرجة تصل إلى ضعف درجة

انحدار هذه الخطوط. ويبدو الاستثناء لهذه القاعدة عند الجيوفون الذي يقع مباشرة فوق هذا المنخفض المحلي.

ومع ذلك، فإن كلا الموجتين تصلان مؤخراً عند هذه النقطة (الشكل رقم ١٣,٥)، وقد يكون التأخير متشابه في حالة الميل البسيط. وقد يكون الاختلاف في زمن الوصول هو نفسه وكأن هذا المنخفض غير كائن، ويتم التوقيع على خط مستقيم متولد من أجزاء أفقية للمستوي الفاصل. وقد تمتد الموجات إلى "وسط انكساري" به عدة منخفضات وارتفاعات. حيث توقع النقط المختلفة على خط مستقيم يميل بانحدار يكافئ نصف سرعة "الوسط المنكسر"، وذلك بشرط أن تكون زاوية الميل منخفضة.



الشكل رقم (١٣,٥). يوضح التأثير على "زمن الانتقال" من وجود منخفض أرضي. وصول الطاقة عند (G_3) من (S_1)، و(S_2) قد اجلت بنفس القدر لكل من (a) و(b). لاحظ في هذا الشكل كما في كل أشكال هذا الفصل أن المقياس الرأسي قد تم مده تفصيلاً حتى يمكن التعرف على خطوط مرور مسار الأشعة بدقة. والشكل السفلي المضغوط يعطي صورة أكثر مصداقية للمسافات البينية للجيوفونات والعمق والتدرج.

وعندما يكون "للوسط المنكسر" ميل ثابت، فإن انحدار خط الاختلاف سيكافئ مجموع المنحدرات للخطوط المفردة، وبذلك يعطى التعبير البياني لمعادلة العلاقة بين الميل والسرعة.

ويعمل المفهوم الذي تم وصفه سالفاً بصفة عامة بصورة أفضل من "البرهان الكيفي" (very qualitative proof) (وبالأحرى عند التخطيط لمواقع جيوفونات في الشكل رقم ١٣,٥) الذي يمكن اقتراحه. ويطابق التغير في انحدار خطوط الاختلاف تلك التغيرات الحقيقية في سرعة "الوسط الانكساري"، حتى أنه يمكن الاستدلال على نطاقات صخور الأساس الضعيفة.

بات واضحاً أهمية "القذف الطويل" (Long shots)، وهذا يرجع إلى أن جزءًا من "الانتشار" الذي فيه تأتي الموجات القادمة أولاً من "القذف القصير" عند طرفي الخط من خلال "الوسط الانكساري" وتميل هذه الموجات لأن تكون قصيرة ومن المحتمل أن ينعدم تواجدها تماماً. وهناك أحياناً احتمالية، وخاصة في حالة استخدام "القذف المركزي" (Centre shots)، لتطبيق "التقنية الاختلافية" (differencing technique) على "الوسط الانكساري" الأوسط.

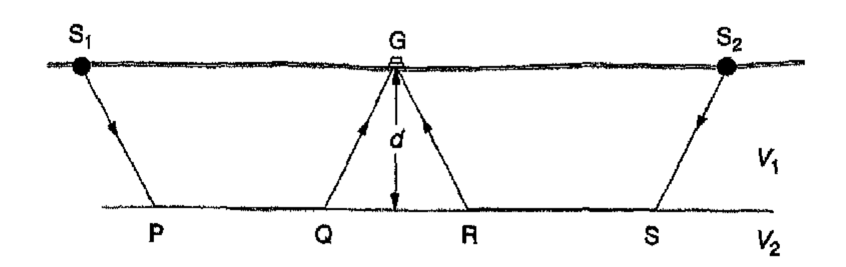
ويمكن الحصول على الاختلافات بسهولة مباشرة من الرسم البياني مستخدمين "الفرجار" (divider)، أو القلم الرصاص وحرف قطعة ورق مستقيمة. وتوقع هذه الاختلافات باستخدام خط الزمن الصفري الافتراضي الموضوع بحيث يسبب أقل قدرا من الالتباس مع البيانات الأخرى (الشكل رقم ١٣,٨).

(١٣,٢,٥) تفسير الزمن التبادلي Reciprocal Time Interpretation

يعرف "الزمن التبادلي" (reciprocal time ;t_R) بأنه الزمن الذي تأخذه الطاقة السيزمية للانتقال بين موقعي "قذف طويل". والاختلاف بين (t_R) ومجموع أزمنة الانتقال (t_A) و(t_B) من موقعي "القذف الطويل" إلى أي موقع جيوفون (G) هو:

$$T_A + t_B - t_R = 2D/F$$

حيث : (D) هي عمق "الوسط الانكساري" أسفل الجيوفون (G) , (F) هو "عامل تحويل العمق" (depth conversion factor)، (الشكل رقم ١٣،٦). وإذا كان هناك سطح فاصل مفرد فقط، فإن (D) تساوي السمك، (d)، الخاص بالطبقة العليا، و(F) تساوي ($V_{1,2}$). وإذا كان هناك أكثر من سطح انفصال، فإن (F) تمثل تجميع مركب لكل السرعات الداخلة، وتقدر حسب سمك الطبقة. عند "القذف القصير" ($t_i = 2D / F$) (وهو الزمن المتبادل) ويمكن حساب قيم (F). يمكن أن تكون الطرق التي تتغير بها القيمة (F) بين هذه النقاط طرق معقدة، ولكن عادة ما يكون "التحريف الخطي" (linear interpolation) مناسب في الحقل (مثال رقم ١٣،١).



الشكل رقم (١٣،٦). يوضح استقراء "الزمن التبادلي". يختلف مجموع أزمنة الانتقال من كل من (S_1)، (S_2) إلى (G) عن الزمن التبادلي (t_R) الذي يؤخذ للانتقال من (S_1) إلى (S_2) بمقدار الاختلاف بين الأزمنة التي تؤخذ للانتقال المسافة (QR) بسرعة (V_2) والمسافة QGR بسرعة (V_1).

وعلى الرغم من (t_R) يمكن قياسها مباشرة، ألا أنه من الأكثر راحة وملاءمة أن يتم حسابها من المعادلة المذكورة آنفاً مستخدماً "الأزمنة التبادلية". ويمكن تنفيذ ذلك بشرط أن توضع الجيوفونات عند نقاط "القذف القصير" بينما يتم تفجير "القذف الطويل" (بحيث يمكن قياس $t_A + t_B$ عند هذه النقاط).

ويجب أن تتفق قيم (t_R) المقدرة باستخدام البيانات الخاصة بالطرفين مع حدود خطء الطريقة (وهي ١–٢ ملي ثانية). وإذا لم تتفق هذه القيم فإنه يجب مراجعة كل من البيانات الأصلية (الخام) والحسابات المستنتجة جيداً لمعرفة السبب في هذا التعارض.

وتقاس الأزمنة المتبادلة "للقذف القصير" مباشرة إذا تم تفجير القذف القصير عند موقع آخر جيوفون، والحقيقة القائلة بأنهم يجب أن يكونوا متساويين يمكن أن تساعد في عملية التقاط خطوط وصول الموجات. وعلى الرغم من ذلك فإن لها مغزى استقرائي ضئيل.

(١٣,٣) محدودية الطريقة الانكسارية
Limitations of the Refraction Method

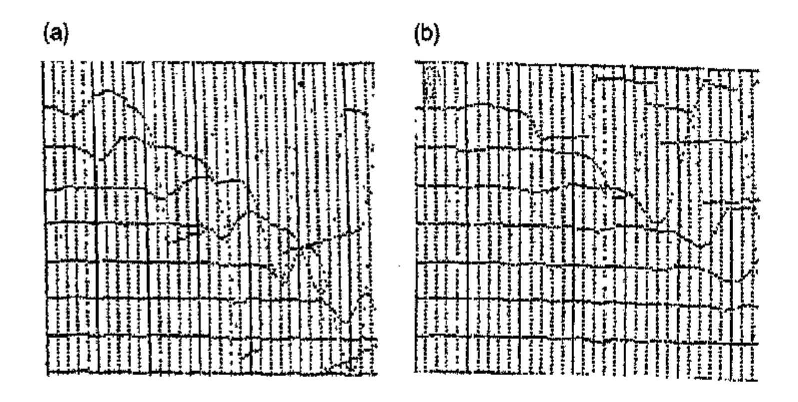
يستخدم المسح الانكساري للموجة التي تصل أولاً جزء ضئيل فقط من المعلومات المتواجدة في "خطوط الأثر" السيزمية، وليس هناك وجهه للاستغراب حينما يتعرض الاستقراء إلى قصور خطير. وهذا هام جداً في الأعمال الهندسية؛ ففي دراسات الطبقة المنخفضة السرعة يكون المطلوب الوحيد هو تقدير زمن الإعاقة و"القذف القصير" بمفرده غالباً ما يكون كافياً.

(١٣,٣,١) الموجات المباشرة Direct Waves

يتكون "السجل الأرضي" من نظام معقد من الموجات الأولية والموجات الثانوية وكذلك موجات لوف (Love) ورايلي (Rayleigh) بمختلف السرعات المنخفضة عموماً. وغالباً ما يكون هناك بعض الشك حول أي مركبه هي المسئولة واقعياً عن تولد "الانقطاع الأول" (First break)، حيث الجيوفونات التقليدية تستجيب فقط باستجابة منخفضة للحركات الأرضية الأفقية للموجات الأولية (P) الموجهة. وقريباً من المصدر، تصاحب كمية كافية من طاقة الموجات الأولية بدرجة استجابة يمكن قياسها، ولكن عند المسافات البعيدة يمكن "للانقطاعات الأولي" أن تسجل وصول الموجه الثانوية، والموجات السطحية أو حتى موجة الهواء.

ويمكـن للخاصـية المعقـدة "للموجـة المباشـرة" أن تكـون مـن بـين أسـباب الفـشل الملاحظ الشائع الذي يحدث للخط الذي يمثل أفضل توافق للوصـول لكـي يمـر خـلال نقطة الأصل. ومن المحتمل أيضاً أن تلعب دوراً في الإعاقة الخاصة "بـدوائر الـزمن" لكـن يمكن تعيين هذا الزمن بالتجربة المباشرة عن طريق استخدام التفجير أو المطرقـة الخفيفـة بحيث تهبط قريباً من الجيوفون.

ويمكن أن يكون من أهم الأسباب التي قد تجعل التكبير المجمع عنـد الجيوفونـات القريبـة مـن نقطـة القـذف مـنخفض لدرجـة أنـه قـد يـؤدي إلى التغاضـي عـن الموجـات الحقيقية التي تصل أولاً (الشكل رقم ١٣,٧). يجـب أن تتبـع الإشـارات القادمـة المخزنـة بكاملها رقمياً "لخطوط الأثر" أن تختبر بـصوره فرديـة أعلـى مـن إجـراء عمليـة التكـبير، ولكن إذا لم يكن هذا ممكناً ، عندئذ ستكون معظم تقديرات الـسرعة الموثـوق فيهـا هـي تلك التقديرات التي لا تعالج الأصل على هيئة نقطة على الخط.



الشكل رقم (١٣,٧). يوضح صورة ورقية من بيانات مخزنة انفرادياً أعيد تسجيلها بتكبيرين مختلفين. قد يظهر بوضوح منحنى الوصول الأول الذي يشاهد بوضوح عند (a)، على هيئة ضوضاء أو تشويش عند (b). ويمكن تصحيح سرعة الموجة المباشرة على أساس (b) بشرط إدخال خط التطابق بسهولة دون إرغام على المنحنى الأصلي. وقد تكون المسافة القاطعة أيضاً غير صحيحة ولكن لا يتأثر الزمن التبادلي بشرط تكبير المسارات المنكسرة جيداً.

(١٣,٣,٢) السرعات الرأسية Vertical Velocities

ومع ذلك يؤخذ الحذر الشديد للحصول على قيم صادقة لسرعات الموجات الانكسارية والموجات الموجهة، وهناك عيب أساسي في الطريقة الانكسارية حيث أن "معادلات العمق" تؤكد أن ما يقاس حقيقة هو سرعات أفقية. وإذا كان هناك عدم تجانس واضح، فسوف تنشأ أخطاء.

وهذه مشكلة للخبراء الذين يقومون بالاستقراء أكثر منها للفنيين الذين يقومون بالأعمال الحقلية ولكن هؤلاء الفنيين يجب أن يكونوا ملمين على الأقل بأهمية استخدام حفر الآبار (Well Log) أو حفرة أرضية حديثة في معايرة أو قياس السرعات الرأسية مباشرة.

(١٣,٣,٣) الطبقات الخفية Hidden Layers

يقال للوسط الانكساري الذي لا يعطي استجابة لأي موجه وصول أولي بأنه "خفي". وعلى الأرجح تكون الطبقة "خفية" إذا كانت رقيقة جداً بدرجة أكبر من الطبقة التي تعلوها وكانت لها سرعة أخفض في السرعة السيزمية من الطبقة التي تحتها. والطبقات المجواة التي تعلو "صخور القاعدة" غالباً ما تكون طبقات خفية.

ويمكن أحياناً تمييز تواجد "الطبقة الخفية" عن طريق وصول الموجه الثانوية ولكن حدوث هذا مجرد احتمال فقط. وهذا يرجع جزئياً إلى الموجات المنكسرة التي تضمحل بقوة في الطبقات الرقيقة السمك.

ويمكن أيضاً أن تخفي الطبقة حتى إذا وصلت "الموجة الرئيسية" (Head wave) أولاً فوق بعض أجزاء سطح الأرض، حيث لا يوجد موقع مناسب لجيوفونات، وتركيز الجيوفونات في "المنطقة الحرجة" يمكن أحياناً أن يكون مفيداً (على الرغم من عدم ملاءمتها) ولكن الاحتياج لتنفيذ ذلك سيؤدي إلي التمييز إذا أجريت الاستقراءات الأولية على أساس يومي.

(١٣,٣,٤) النطاقات العمياء Blind Zones

إذا قلت السرعة عن المستوى الفاصل بين الطبقات، لا يحدث انكسار حرج ولا تعود طاقة منكسرة إلى سطح الأرض. وقليلاً ما يمكن عمله بخصوص هذه الأسطح الفاصلة المحجوبة ما لم يكون هناك إمكانية لقياس السرعات الرأسية مباشرة.

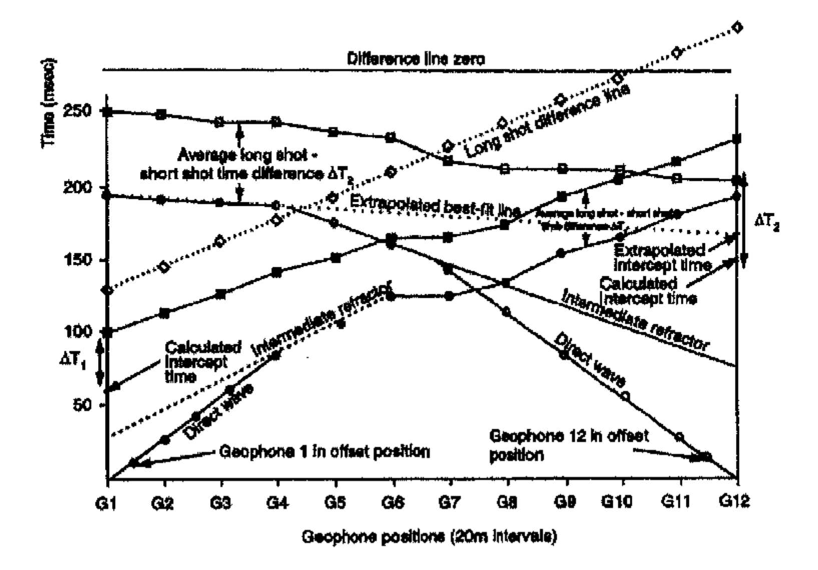
غالباً ما تخلق الطبقات الرقيقة ذات السرعة العالية مثل منسوب سطح المياه الأرضية الممتد والأجسام المدفونة، "نطاقات محجوبة" (blind zones). وتفقد الموجات المنكسرة على هذه الطبقات الطاقة بسرعة مع زيادة المسافة من المصدر حتى تفقد القدرة على قياسها والإحساس بها في نهاية الأمر. ويمكن عندئذ التقاط الأحداث التي تحدث مؤخراً جداً على هيئة وصول موجات أولي، مولدة عدم استمرارية في توقيع الرسم البياني بين الزمن والمسافة. ويحدث نفس التأثير إذا انتهى امتداد الطبقة فجأة.

(١٣,٣,٥) محدودية عمليات الحفر Limitation of Drilling

على الرغم من تقصر الأعمال المساحية الانكسارية، فإن الاستقراءات لا تكون دائماً خاطئة عندما يختلف مع بيانات الحفر (بيانات البئر). وتؤخذ عينات مع حجم ضئيل تحت سطحي عن طريق الحفر، وكثيراً من اختبارات الحفر الخاصة بانحراف السمك قد تنتهي عند حدود معزولة تقع على مسافة قليلة أعلى القمة الحقيقية "لصخور الأساس". ويكون من الأهمية دائماً أن نجد شرحاً لأي اختلافات بين الحفر والنتائج السيزمية.

مثال (١٣,١)

تم الانتهاء من توقيع الاستقراء الحقلي لعدد أربعة "قذفات" انكسارية منتشرة منها "القذف الطويل" (Long shots;Ls) والقذف القصير (Short shot;SS) وقد وصلت الموجات المنكسرة من الغرب (W) ومن الشرق (E) وذلك على نفس مجموعة المحاور (الشكل رقم ١٣,٨).



الشكل رقم (١٣,٨). يوضح رسماً بيانياً يمثل العلاقة بين الزمن والمسافة لعدد أربعة "قذفات" انكسارية. ويشار إلى اختلاف أزمنة القذف الطويل الذي يظهر كدوائر مفتوحة؛ بخط الصفر التقليدي الذي يوضع عند $t = 280\ ms^{-1}$. لاحظ الفرق بين زمن الإعاقة (الانقطاع) الذي يمكن الحصول عليه بمد خط بيان القذف القصير وعن طريق استخدام الاختلاف الزمني بين القذف القصير والقذف الطويل للموقع (G 12). ويمكن أن يكون مد خط الوصول المنكسر إلى الزمن الصفري أكثر صعوبة للموقع (G_1)، ويمكن أن يؤدي – إلى مزيد الاستقراء غير الصحيح.

وبعد توقيع البيانات، تُجرى الاستقراءات على النحو التالي :

المرحلة الأولى: – أزمنة الاعتراض للأوساط الانكسارية الأساسية Base refractor intercept times

قياس أزمنة الاختلاف بين LS (W) – SS (W)

وهذه الأزمنة ثابتة تقريباً وقريبة جداً من الرقم (41 ms) من الجيوفونات من رقم (G6) إلى رقم (G12)، مما يدل على وصول الموجات SS (W) من "وسط منكسر

أساسي" (base refractor). وبالمثل، زمن الاختلاف بين كل من (SS (E) – LS (E قريب جداً من (59 ms)، من الجيوفونات أرقام (G1) إلى (G4).

أزمنة الاعتراض Intercept times

❖ زمن LS (w) عند الطرف الغربي = ١٠١ متر ثانية (ms)

- زمن الاعتراض = ١٠١ - ٤١ = ٦٠ متر ثانية (ms)

❖ زمن LS (E) عند الطرف الشرقي = ٢٠٨ متر ثانية (ms)

- زمن الاعتراض = ٢٠٨ - ٥٩ = ١٤٩ متر ثانية (ms)
(Intercept time)

لاحظ . الاختلاف LS (E) من امتداد الرسم البياني لزمن الاعتراض حوالي ١٧٠ متر ثانية (ms).

المرحلة الثانية :– السرعات Velocities

سرعة الموجة المباشرة: Direct – wave velocity

❖ الخط المستقيم من الأصل (w) ممتداً بالقرب من وصول الموجات SS (W) ممتداً ٦٠ متر إلى الجيوفون (G4).

$$\text{Velocity } V_1 = 60/_{0.079} = 759 \text{ ms}^{-1}$$

❖ الخط المستقيم من الأصل (E) ممتداً بالقرب من وصول الموجات SS (E) ممتداً ١٠٠ متر إلى الجيوفون (G_7).

$$\text{Velocity } V_1 = 100/\ 0.134 = 746 \text{ ms}^{-1}$$

بقيمة متوسطة $(V_1) = 750 \text{ ms}^{-1}$

الوسط الانكساري الأوسط Intermediate refractor

الموجات الواصلة عند الجيوفون رقم (G5) من القذف القصير SS (W) و عند الجيوفون رقم (G5)، (G6) من القذف القصير SS (E) لا يتبع مجموعة "الوسط الانكساري الأساسي" (base refractor) (أنظر المرحلة الأولية)، ولا تقع على خط وصول "الموجة الموجهة"، مما يدل على وجود وسط انكساري (V_2) أوسط.

والسرعة (V_2) لا يتم التحكم فيها كاملاً ولكن يجب مرور خطوط الوصول فوق جميع الموجات المباشرة (V_1) وموجات الوصول الأولى للوسط الانكساري الأساسي.

ومن أكثر المواضع المرغوب فيها ما يلي:

SS (W): $V_2 = 1470\ _{ms}^{-1}$ Intercept Time = 29 ms

SS (E) : $V_2 = 1560\ _{ms}^{-1}$ Intercept Time = 77 ms

وهذه السرعات تدل على أن السطح الفاصل يمكن أن يكون مستوى منسوب للمياه الأرضية بسرعة حوالي ١٥٠٠ متر/ ثانية (ms^{-1}).

سرعة الوسط الانكساري الأساسي Base refractor velocity

- يتم توقيع زمن الاختلاف LS (W) – LS (E) عند كل جيوفون، مستخدماً خط (280ms) المناسب كزمن صفري time zero.

V_3 = 2/ (slope of difference line) = 2X220/00.182= 2420 ms^{-1}

وظائف السرعة Velocity functions

$V_{1,2} = V1 \text{ X } V_2 / \sqrt{} V_2^2 - V_1^2) = 750 \text{ X } 1500 / \sqrt{} (1500^2 - 750^2) = 870\ ms^{-1}$

$V_{1,3} = V1 \text{ X } V_3 / \sqrt{} V_3^2 - V_1^2) = 75 \text{ X } 2420 / \sqrt{} (2420^2 - 750^2) = 790\ ms^{-1}$

$V_{2,3} = V2 \text{ X } V_3 / \sqrt{} V_2^2 - V_1^2) = 1500 \text{ X } 2420 / \sqrt{} (2420^2 - 1500^2) = 1910\ ms^{-1}$

المرحلة الثالثة: الأعماق عند نقط القذف Depths at shot points

الأعماق إلى الوسط الانكساري الأوسط

Depths to intermediate refractor ($d_1 = ½\ t_i\ V_{1,2}$) :

W end: d_1 = ½ X 0.029X 870= 12.6 m

E end: d_1 = ½ X 0.077 X 870 = 33.5m

سمك الطبقة الوسطى

Thickness of intermediate layer ($d_2 = ½\ [ti - 2d_1/ V_{1,3}]\text{X } V_{2,3}$):

W end: $d_2 = ½$ ❖ {0.060 – 25.2/790} ❖1910 = 26.8 m

D = 26.8 + 12.6 = 39.4 m

E end: $d_2 = ½$ ❖ {0.149 – 67.0/790} ❖ 1910 = 61.3 m

D = 33.5 + 61.3 = 94.8m

المرحلة الرابعة : استقراء الزمن التبادلي Reciprocal time interpretation

تفسير الزمن التبادلي باستخدام الجيوفون رقم (٨)

Reciprocal time interpretation (example using Geophone 8)

الزمن التبادلي

Reciprocal time $(t_A + t_B - t_i)$

W end: t_R = 101 + 254 = 295 ms

E end: t_R = 233+ 208 – 149 = 292 ms

Average = 293 ms

عوامل عمق التحول

Depth conversion factors at short shots $(F = 2XD/t_i)$

W end: F = 2 X 39.4 / 0.060 = 1310 ms^{-1}

E end: F = 2X 94.8/0.149 = 1270 ms^{-1}

F at G8 (by interpolation) = 1280 ms^{-1}

العمق عند الجيوفون رقم (٨)

Depth at G8 $(D = t_A + t_B - t_R)$

D = ½ X (0.174 + 0.213 – 0.293) X 1280 = 60.2 m

المراجع

١- الكتب

Clark, A. (1996) Seeing Beneath the Soil - Prospecting Methods in Archaeology (Second Edition), Routledge, London. 192 pp.
Dentith, M.C., Frankeombe, K.F., Ho, S.E., Shepherd, J.M., Groves, D.L. and Trench, A. (eds) (1995) Geophysical Signatures of Western Australian Mineral Deposits, Geology and Geophysics Department (Key Centre) and UWA Extension, University of Western Australia, Publication 26, and Australian Society of Exploration Geophysicists, Special Publication 7, 454 pp.

Emerson, D.W ,.Mills, K.J., Miyakawa, K., Hallett, M.S. and Cao, L.Q. (1993) Case Study, Koongarra NT, Australian Society of Exploration Geophysicists, Special Publication 8, 71 pp.
Hoover, D.B., Heran, W.D. and Hill, P.L. (Eds) (1992) The Geophysical Expression of Selected Mineral Deposit Models, United States Department of the Interior, Geological Survey Open File Report 92-557, 128 pp.
Kearey, P., Brooks, M. and Hill, I. (2002) An introduction to Geophysical Exploration (Third Edition). Blackwell Science, Oxford, 262 pp.
McCann, D.M., Fenning, P. and Cripps, J. (Eds) (1995) Modern Geophysics in Engineering Geology, Engineering Group of the Geological society, London, 519 pp.
Mussett, A.E. and Khan, MA. (2000) Looking into the Earth: An Introduction to Geological Geophysics, Cambridge University Press, Cambridge, 470 pp.
Nettleton, L.L. (1976) Gravity and Magnetics in Oil Prospecting, McGraw Hill, New Yurk, 464 pp.
Parasnis, D.S. (1996) Principles of Applied Geophysics (Fifth Edition), Chap man & Hall. London, 456 pp.
Reynolds, J.M. (1997) An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. Wiley, Chiehester, 796 pp.

Sharma, P.V. (1997) Environmental and Engineering Geophysics, Cambridge University Press, Cambridge, 475 pp.
Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. and Keys, D.A. (1990) Applied Geophysics (Second Edition), Cambridge University Press, Cambridge, 770 pp.
Van Blaricom, R. (1992) Practical Geophysics Ii, Northwest Mining Association, Spokane, 570 pp.
Whitely, RJ. (Ed.) (1981) Geophysical Case Study of the Woodlawn Ore body, New South Wales, Australia, Pergamon Press, Oxford, 588 pp.

٢ – المقالات العلمية

Barker, R.D. (1981) The offset system of electrical resistivity sounding and its use with a multicore cable. Geophysical Prospecting, 29, 1 28
Bhattacharya, B.B. and Sen, M.K. (1981) Depth of investigation of collinear electrode arrays over an homogeneous anisotropic half-space in the direct current method. Geophysics, 46. 766—80.
Corwin, R.F. and Hoover, D.B. (1979) The sell-potential method in geothermal exploration. Geophysics, 44, 226-45.
Fraser, D.C. (1969) Contouring of VLF data. Geophysics, 34, 958-67
Hammer, S. (1939) Terrain corrections for gravimeter stations. Geophysics, 4, 184-94.
Hawkins, L.V. (1961) The reciprocal method of routine shallow seismic refraction investigations. Geophysics, 26, 806-19.
IAGA Division V. Working Group 8 (1995) International Geomagnetic Reference Field, 1995 Revision. Preview, 58, 27-30.
Longmau, LM. (1959) Formulas for computing the tidal accelerations due to the moon and sun. Journal of Geophysical Research, 64, 2351-5.
Morelhi, C., Gantar, C., Itonkasalo, T., MeConnel, tt.K., Szabo, B., Tan. ncr, J.G., Uotila, U. and Whalen, C.T. (1974) The international Gravity Standarization. Net 1974, International Association of Geodesy, Special Publication 4.
Quick, D.H. (1974) The interpretation of gradient array chargeability anomalies. Geophysical Prospecting, 19, 551-67.
Seohlar, I., Weidner, B. and Segeth, K. (1986) Display of archaeological data.

Geophysics, 51, 623-33.

Staltari, C. (1986) The Que River TEM case-study. Exploration Geophysics. 17, 125-128.
Turner, G., Siggins, A.F. and Hunt, L.D. (1993) Ground penetrating radar - will it clear the haze at your site? Exploration Geophysics. 24, 819-32.

٣- صفحات انترنت

(a) Instrument manufacturers

ABEM http://www.abem.com/
Geometries http://www.geometrics.com/
Geometries (UK) (now Geomatrix) http://www.georentals.com/
Geonies http://www.geonics.com/
Electromagnetic Instruments Inc. http://www.emiinc.com
Scintrex http://www.scintrexltd.com/
Zonge http://www.zonge.com

(b) Organizations

European Association of Geoscientists & Engineers (EAGE) http://www.eage.nl/
Environmental and Engineering Geophysical Society (EEGS) http://www.eegs.org/
Society of Exploration Geophysicists (SEG)
http://www.seg.org/
Australian Society of Exploration Geophysicists (ASEG)
http://www.aseg.org.au/
Canadian Society of Exploration Geophysicists (CSEG)
http://www.cseg.ca/

٤- ملاحظات

IGSN71

يمكن الحصول على الوصف الخاص بالمحطات العالمية (IGSN71) من العنوان التالي:

The Bureau Gravimetrique International,
CNES, 18, Avenue Edouard Belin,
31055 Toulouse Cedex, France

تحتفظ هيئات المساحة الجيولوجية الوطنية والإقليمية بشبكات رصد خاصة بها في مناطقها وتحت مسؤليتها.

معادلة الجاذبية الاهليجية WGS84

المعادلة الأساسية كالتالي:

$$g_{norm} = \frac{978032.67714(1+0.00193185138639-\sin^2 L)}{\sqrt{(1-0.00669437999013-\sin^2 L)}}$$

كما يمكن المعادلة التالية لتصحيح الجاذبية الناتج عن الغلاف الجوي :

$$\delta g = 0.87 - \exp(-0.116h^{1.047})$$

تطبيق هذا التصحيح يعيد قيم الجاذبية عند مستوى سطح البحر الطبيعي كأمثال المعطاة بواسطة IGF1967 .

IGRF

توجد ملفات من نوع آسكي للثوابت و برامج الحاسوب الخاصة بالجاذبية لتمثيل مكونات الحقول على العنوان التالي :

World Data Center A,
Solid Earth Geophysics,
National Geophysical Data Center,
NOAA, Code EICCI, 325 Broadway,
Boulder, CO 80303-3328, USA

أو العنوان التالي :

World Data Center CI (Geomagnetism,
British Geological Survey,
Murchison House,
West Mains Road,
Edinburgh
EH9 3LA, UK.

الملاحق

الملحق

تصحيح الارتفاع لنطاقات همر من B وحتى M بوحدات الجاذبية SI . السطر R يسرد القطر الداخلي والخارجي للنطاقات بالمتر وحتى وبما في ذلك نطاق G وبالكيلومترات بعد ذلك. سطر N يسرد رقم الصناديق التي قسمت نطاقاتها.

Zone:	B	C	D	E	F	G	
R (m):	٢	١٦٦	٥٣٣	١٧٥	٣	٨٩٥	1530
N	٤	٦	٦	٨	٨	١٢	
0.01	٠,٥	١,٩	٣,٣	٧,٦	١١,٥	٢٤,٩	
0.02	٠,٧	٢,٦	٤,٧	١٠,٧	١٦,٣	٣٥,١	
٠,٠٣	٠,٨	٣,٢	٥,٨	١٣,١	١٩,٩	٤٣,٣	
٠,٠٤	١,٠	٣,٨	٦,٧	١٥,٢	٢٣,٠	٤٩,٨	
٠,٠٥	١,١	٤,٢	٧,٥	١٧,٠	٢٥,٧	٥٥,٦	
٠,٠٦	١,٢	٤,٦	٨,٢	١٨,٦	٢٨,٢	٦٠,٩	
٠,٠٧	١,٣	٥,٠	٨,٩	٢٠,١	٣٠,٤	٦٥,٨	
٠,٠٨	١,٤	٥,٤	٩,٥	٢١,٥	٣٢,٦	٧٠,٤	

٠,٠٩	١,٥	٥,٧	١٠,١	٢٢,٩	٣٤,٥	٧٤,٧	
٠,١٠	١,٦	٦,٠	١٠,٦	٢٤,١	٣٦,٤	٧٨,٧	
٠,٢٠	٢,٤	٨,٧	١٥,١	٣٤,٢	٥١,٦	111.6	
٠,٣٠	٣,٢	١٠,٩	١٨,٦	٤٢,١	٦٣,٣	١٣٦,٩	
٠,٤٠	٣,٩	١٢,٩	٢١,٧	٤٨,٨	٧٣,٢	١٥٨,٣	
٠,٥٠	٤,٦	١٤,٧	٢٤,٤	٥٤,٨	٨٢,٠	١٧٧,٤	
٠,٦٠	٥,٣	١٦,٥	٢٦,٩	٦٠,٢	٩٠,٠	١٩٤,٧	
٠,٧٠	٦,١	١٨,٢	٢٩,٣	٦٥,٣	٩٧,٣	٢10.7	
٠,٨٠	٦,٩	١٩,٩	٣١,٥	٧٠,١	١٠٤,٢	٢٢٥,٦	
٠,٩٠	٧,٨	٢١,٦	٣٣,٧	٧٤,٧	١١٠,٨	٢٣٩,٨	
١,٠٠	٨,٧	٢٣,٤	٣٥,٧	٧٩,١	١١٧,٠	٢٥٣,٢	

التأثير: اختلافات الارتفاع بالمتر

(وحدة جاذبية)

Zone:	H	I	J	K	L	M	
R (km):	1.53	٢,٦١	٤,٤٧	٦,٦٥	٩٩	١٤,٧	٢١,٩
N:	١٢	١٢	١٦	١٦	١٦	١٦	
0.01	٣٢	٤٢	٧٢	٨٨	١١٠	١٢٥	
0.02	٤٦	٦٠	١٠١	١٢٤	١٤٨	182	
0,03	٥٦	٧٤	١٢٥	١٥٣	١٨٦	225	
0,04	٦٥	٨٥	١٤٤	١٧٦	٢١٣	262	
0.05	٧٣	٩٥	١١٦	١٩٧	٢٣٩	291	
0.06	٨٠	١٠٤	١٧٦	٢١٦	٢٦١	319	
0.07	٨٦	١١٢	١٩١	٢٣٣	٢٨٢	346	

	370	٣٠٣	٢٤٩	٢٠٤	١٢٠	٩٢	0.08
	391	٣٢٢	٢٦٤	٢١٦	١٢٧	٩٦	0.09
	413	٣٣٨	٢٧٨	٢٢٨	١٣٤	١٠٣	0١.٠
	586	٤٧٩	٣٩٤	٣٢٢	١٩٠	١٤٦	0٢.٠
	717	٥٨٧	٤٨٣	٣٩٦	٢٣٣	١٧٩	0٣.٠
	828	٦٧٩	٥٥٧	٤٥٧	٢٦٩	٢٠٦	0٤.٠
	926	٧٥٩	٦٢٤	٥١١	٣٠١	٢٣١	0.50
	1015	٨٣٢	٦٨٣	١٥٦	٣٣٠	٢٥٣	0.60
	1097	٨٩٩	٧٣٨	٦٠٦	٣٥٧	٢٧٤	0.70
	1173	٩٦٢	٧٩٠	٦٤٨	٣٨٢	٢٩٣	0.80
	1244	١٠٢٠	٨٣٨	٦٨٨	٤٠٥	١٣١	0.90
	1312	١٠٧٦	٨٨٤	٧٢٦	٤٢٧	٣٢٨	1.00

التأثير: اختلافات الارتفاع بالمتر

(وحدة جاذبية)

الجداول السابقة تسرد اختلافات الارتفاع الصحيح والتي نفترض فيها الكثافة 2.0 Mg m^{-3} والتي سوف تنتج تأثير للارتفاعات كما في الجدول. لذلك الاختلاف في الارتفاع لـ ٣٢ متر بين محطتي جاذبية ومعدل مستوى الارتفاع الطبوغرافي لصندوق واحد في نطاق E (بين ١٧٠ متر و٣٩٠ متر بين محطات الجاذبية) والتي ستكون مقترنة بتأثير لارتفاع لـ ١٨,٠ وحدة جاذبية. معظم أجهزة قياس الجاذبية التجارية لها حساسية ١,٠ وحدة جاذبية ولكن أضيف خانة إضافية بعد الفاصلة للجدولة لتفادي تراكم أخطاء لـ (rounding off) عندما نجمع تأثيرات الصناديق مجتمعة.

ثبت المصطلحات

أولاً: عربي – إنجليزي

أ

إجراءات الأمن والسلامة	Safety
الإجراءات الحقلية – المسح الحقلي الشامل	Field Procedures – Total Field Surveys
أجهزة	Vlf Instruments Vlf
أجهزة التحليل الطيفي لأشعة جاما	Gamma – Ray Spectrometers
أجهزة السيزموجراف متعددة القنوات	Multi-Channel Seismographs
أجهزة القياس الصلبة غير الساكنة	Steel A Static Meters
أجهزة القياس الطيفي لأشعة جاما"	Gamma-Ray Spectrometers
أجهزة القياس الوميظي للأشعة جاما	Gamma-Ray Scintillometers
أجهزة الكشف الإشعاعي	Radiation Detectors

أجهزة الكشف الوميضي	Scintillometers
أجهزة المستقبل	Receivers
أجهزة تسجيل	Data Loggers
أجهزة قياس المغناطيسية	Magnetic Instruments
أجهزة كشف غاز الرادون	Radon Gas Detectors
اختزال الجاذبية	Gravity Reductions
اختيار الأجهزة الجيوفيزيائية	Choosing Geophysical Instruments
اختيار الترتيب	Choice Of Array
اختيار عناصر الأعمال المساحية	Selecting Survey Parameters
الازدواج	Coupling
الازدواج الحثي	Capacitative Coupling
أزمنة الاعتراض	Intercept Times
أزمنة الاعتراض	Intercept Times
أزمنة الاعتراض للأوساط الانكسارية الأساسية	Base Refractor Intercept Times
استقراء الزمن التبادلي	Reciprocal Time Interpretation
الاستقطاب الإهليجي	Elliptical Polarization
الاستقطاب الحثي	Induced Polarization
أسس إجراء المسح باستخدام التيار المباشر	Dc Survey Fundamentals
أسس الانكسارات	The Principal Refractors
الأسس الفيزيائية لطريقة الجاذبية	Physical Basis Of The Gravity Method
أسس طريقة الرادار	Radar Fundamentals

الأسلاك	Cables
الأسلاك السيزمية	Seismic Cables
الإشارات والتشويش	Signal And Noise
الإشعاع الطبيعي	Natural Radiation
الإشعاعات الكهرومغناطيسية الطبيعية المسموعة ومصدر التحكم فيها	Natural And Controlled-Source Audio-Magnetotellurics
أشعة جاما	Gamma Radiation
الأشعة ذات التردد شديد الانخفاض	Vlf Radiation
أشكال الزمن والمسافة البيانية	Time- Distance Plots
أشكال الشذوذ المغناطيسي	Forms Of Magnetic Anomaly
أشكال مسار الشعاع	Ray-Path Diagrams
الاضمحلال الدليلي	Exponential Decay
أطوال الانتشار	Spread Lengths
أطوال انتشار الانكسار	Lengths Of Refraction
الاعتبارات الهندسية	Geometrical Considerations
إعداد الأجهزة	Instrumentation
إعداد قطاعات المقاومة	Resistivity Profiling
الأعماق عند نقط القذف	Depths At Shot Points
الأعمال المساحية	Gpr Surveys
أقطاب التيار	Current Electrodes
الأقطاب المعدنية	Metal Electrodes

الأقطاب غير المستقطبة	Non – Polarizing Electrodes
الأقطاب غير المستقطبة	Non – Polarizing Electrodes
الأقطاب، ثنائي القطب والتمغنط	Poles, Dipoles Magnetiztion
الامتصاص	Absorption
انتقال الموجات ذات التردد شديد الانخفاض	VLF Transmissions
الانحراف	Drift
أنظمة الزنبرك غير الساكنة	Astatic Spring Systems
انعكاس نبضات الرادار	Reflection Of Radar Pulses
الانعكاس والانكسار	Reflection And Refraction
الانعكاسات المتعددة (المركبة)	Multiple Reflections
انقطاع الزمن	Time Breaks
الانكسار الحرج والموجه المعاكسة	Critical Refraction And Head Wave
أنواع الأعمال المساحية	Survey Types
أنواع الموجة المرنة	Types Of Elastic Wave

ب

البث المباشر	Direct Injection
بروتون بريسشن	Proton Precession
بروفيلات متراصة	Stacked Profiles
بوجير	Bouguer
البيانات الجيوفيزيائية	Geophysical Data

ت

تأثير المد والجزر	Tidal Effects
تأثير الميل	Effect Of Dip
تأثير بوجير	Bouguer Effect
تأثير ميل الطبقات	Effect Of Dip
التأثيرات الجيولوجية	Geological Effects
تأثيرات المجال الكهربي	Electric Field Effects
تأثيرات المجال المغناطيسي	Magnetic Field Effects
تأثيرات طبقة الردم	Overburden Effects
تحديد مواقع المحطات	Station Positioning
التحكم الذاتي	Automation
تحليل القياسات الإشعاعية	Radiometric Assays
التحويل إلى العمق	Depth Conversion
التداخلات في الأعمال المساحية الرادارية	Interference In GPR Surveys GPR
ترتيب الأقطاب المتعددة	Multi- Electrode Arrays (Not Shown)
ترتيب البول – ديبول	Pole – Dipole Array
ترتيب التدرج	Gradient Array
ترتيب التربيعية	Square Array
ترتيب التركيزية	Focused Arrays
ترتيب القطبين	Two – Electrode (Pole – Pole)

Dipole – Dipole (Eltran) Array	ترتيب ديبول – ديبول (إيلتران)
Schlumberger Array	ترتيب شلمبرجير
Offset Wenner	ترتيب ونر التعويضية
Wenner Array	ترتيب وينر
Electrode Arrays	ترتيبات الأقطاب
Normal Moveout	الترحيل العمودي
Angular Frequency	التردد الزاوي
Station Numbering	ترقيم المحطات
Recording Seismic Signals	تسجيل الإشارات السيزمية
Recording Radiometric Data	تسجيل البيانات الإشعاعية المقاسة
Recording The Results	تسجيل النتائج
Noise	التشويش
Random Noise	التشويش العشوائي
Seismic Noise	تشويش سيزمى
Noise In Electrical Surveys	التشويش في الأعمال المساحية الكهربية
Noise In Ground Magnetic Surveys	التشويش في الأعمال المساحية المغناطيسية الأرضية
Geometric Distortion	التشويه الهندسي
Drift Correction	تصحيح الانحراف
Terrain Corrections	تصحيح التضاريس
Free Air Correction	تصحيح الهواء الحر
Bouguer Correction	تصحيح بوجير
Latitude Correction	تصحيح دوائر العرض

Corrections For Background Variations	تصحيحات التغيرات في القاعدة الإشعاعية
Refractor Relief And True Velocities	تضاريس "الوسط الانكساري" والسرعات الحقيقية
Diurnal Variations	التغيرات اليومية النهارية
Field Interpretation	التفسير الحقلي
Field Interpretation	التفسير الحقلي
Reciprocal Time Interpretation	تفسير الزمن التبادلي
Simple Magnetic Interpretation	التفسير المغناطيسي البسيط
Picking Refraction Arrivals	التقاط الموجات الانكسارية الوافدة
Processing Techniques	تقنيات المعالجة
Presentation Of Sounding Data	التمثيل البياني لبيانات الجس الرأسي
Magnetization	التمغنط
Radioactive Equilibria	التوازن الإشعاعي
Normal Distribution	التوزيع العادي
Resistivity And Conductivity	التوصيلة والمقاومة الكهربية
Transients	التيرات العابرة

ث

Bipolar	ثنائية القطبية

ج

Gravity	الجاذبية الأرضية

الجرافيمتر	Gravimeters
الجس الرأسي العميق باستخدام ترتيب وينر التعويضية	Offest Wenner Depth Sounding
جسيمات ألفا	Alpha Particles
جسيمات بيتا	Beta Particles
جهاز تحديد المواقع الأرضية باستخدام الأقمار الصناعية	Global Positioning Satellites; (Gps)
جهاز تسجيل البيانات أوتوماتيكياً	Automatic Data Logger
جهاز قياس الجاذبية الأرضية	Standard Gravity Meter
جهاز ماجنيتومتر "بروتون بريسشن	Proton Precession Magnetometer
الجيوفونات (السماعات الأرضية)	Geophones
الجيويد	Geoid

ح

حساسية الجهاز	Sensitivity
حقل	Field
حقيبة العدة (الأدوات) الجيوفيزيائية	A Geophysical Toolkit
حقيبة العدة الحقلية	Field Toolkit
حواشي التسجيلات الحقلية	Annotation Of Field Records

خ

خرائط الجاذبية القياسية	Standardized Gravity Maps
الخصائص المغناطيسية	Magnetic Properties

خلفية التشويش الطبيعية	Natural Background Noise

د

درجات الدقة في أجهزة الاستقبال	Accuracies In Hand-Held GPS Receivers (GPS)
دفتر الحقل	Field Notebook
دفق الجسيمات الإشعاعية	Radioactive Particle Fluxes
دقة الإجراءات وحساسية الجهاز وضبط المعلومات	Accuracy, Sensitivity And Precision
الديبول ثنائي القطب	Dipoles
الديسبل	Decibels

ر

ربط الأسلاك	Connection
رصد جسيمات ألفا	Alpha – Particle Monitors

ز

زاوية الطور	Phase Angle
زمن القراءة	Reading Times

س

سبر الآبار الكهربية	Electrical Well Logging
السرعات	Velocities

السرعات الرأسية	Vertical Velocities
السرعات ومعادلة متوسط الزمن	Velocities And The Time-Average Equation
سرعة الموجة المباشرة	Direct – Wave Velocity
سرعة الوسط الانكساري الأساسي	Base Refractor Velocity
سرعة ديكس	Dix Velocity
السماحية الكهربية	Electrical Permittivity
السيزموجراف أحادي القناة	Single-Channel Seismographs

ش

شبكة المحطات الأساسية	Base Networks
الشذات المحلية	Local Anomalies
الشذوذ	Anomalies
الشذوذ الايزوستاتيكي	Isostatic Anomaly
شذوذ بوجير	Bouguer Anomaly

ض

ضبط الارتفاع	Elevation Control
ضبط وتجهيز جهاز قياس الجاذبية	Setting Up A Gravity Meter

ط

الطبقات الخفية	Hidden Layers

الطبقات الغير متماسكة	Poorly Consolidated
الطبقات المتعددة	Multiple Layers
طرق الاستقطاب الحثي	IP Of Induced Polarization
طرق التيار المباشر	Dc Methods
طرق التيار المتغير	Varying Current Methods
طرق الجهد الذاتي	SP Or Self Potential
طرق المقاومة الكهربية	Resistivity Methods
طريقة إظهار البيانات	Data Displays
الطريقة السيزمية الانكسارية	Seismic Refraction
الطريقة الجربة لتقدير العمق	Rule – Of Thumb Depth Estimation
طريقة نتلتون لتعين الكثافة المباشر	Nettleton's Method For Direct Determination Of Density
طول الموجة ومنتصف العرض	Wavelengths And Half-Widths
طيف أشعة جاما الطبيعية	Natural Gamma – Ray Spectra

ع

عامل هندسي	Geometric Factor
عرض النتائج	Presentation Of The Results
عرض بيانات	Displaying Vlf Data Vlf
عرض بيانات الرادار	Display Of GPR Data
عرض معلومات المقطع	Displaying Traverse Data
عمق الاختراق	Depth Of Penetration
عمق الاختراق	Depth Penetration

عمق الجس الكهربي باستخدام طرق المقاومية الكهربية	Resistivity Depth Sounding
عمق القشرة	Skin Depth
العمل الحقلي الجيوفيزيائي	Geophysical Field-Work
عملية الترشيح	Filtering
عناصر الرادار	Radar Parameters
العواصف المغناطيسية	Magnetic Storms

ف

فرق الجهد المستقطب	Polarization Voltages
فلاكسجيت	Fluxgate
فوتونات جاما	Gamma Photon

ق

قابلية الصخور والمعادن للتمغنط	Susceptibilities Of Rocks And Minerals
القابلية المغناطيسية المكتسبة	Quoted Susceptibilities
القابيلة المغناطيسية	Susceptibility
قاعدة	Base
قانون التربيع العكسي	Inverse -Square Law
قانون أوم والمقاومة الكهربية	Ohm's Law And Resistivity
القذف المركزي	Centre Shots
القذف عند نقطة متوسطة	Mid-Point Shooting

قراءة حقلية	Field Reading
قطاعات إسهام الإشارة	Signal – Contribution Sections
القطاعات الكاذبة وقطاعات العمق	Pseudo – Sections And Depth Sections
قوة الإشارة	Signal Strength
القيم النموذجية	Standard Values

ك

الكشف عن الموجات الثانوية	Detection Of S-Waves
الكشف عن الموجات السيزمية	Detection Of Seismic Waves
الكشف عن الموجات في المياه والمستنقعات	Detection In Swamps And Water
الكشف عن مجالات التردد شديد الانخفاض	Detecting VLF Fields
كفاءة الحماية الحقلية	Field Worthiness
الكهرومغناطيسية	Electromagnetic

ل

لوح بوجير	The Bouguer Plate

م

ماجنيتومتر "البخار القلوي" عالي الحساسية	High Sensitivity (Alkali Vapour) Magnetometer
ماجنيتومتر البخار القلوى	Magnetometers Alkali Vapour

مبادئ الاتصال الحثي	Capacitative Principles
مبادئ المحطة الأساسية	Base Station Principles
مبادئ مسح الجاذبية	Survey Principles
المتجه الإضافي	Vector Addition
متراكم	Stacked
المتغيرات والانحراف القياسي للمنحنى	Variance And Standard Deviation
المتفجرات	Explosives
المجال الابتدائي	Primary Field
المجال الابتدائي	Primary Field
مجال الجاذبية الأرضية	Earth's Gravity Field
مجال الجاذبية للكرة الأرضية	Gravity Field Of The Earth
المجال المغناطيسي الرئيسي للأرض	Main Field Of The Earth
المجال المغناطيسي للأرض	The Magnetic Field Of The Earth
محدودية الطريقة الانكسارية	Limitations Of The Refraction Method
محدودية عمليات الحفر	Limitation Of Drilling
محطات القاعدة	Base Stations
محلل ارتفاع النبضة	Pulse-Height Analyser
مراجعة ضبط الأجهزة	Meter Checks
المرجع الحقلي الجيومغناطيسي العالمي	The International Geomagnetic Reference Field (Igrf)
مسار الشعاع	Ray- Path
المسح الإشعاعي	Radiometric Surveys
المسح الإشعاعي	Radiometric Surveys
المسح الجيوفيزيائي في الأجواء المطيرة	Geophysical Survey In Rainy Weather

المسح بالطريقة الانكسارية	Refraction Surveys
مشابك التمساح	Crocodile Clips
المصادر أحادية الأبعاد	One - Dimensional Sources
المصادر التصادمية الأخرى	Other Impact Sources
المصادر السيزمية	Seismic Sources
مصادر القوى الكهربية	Power Supplies
المصادر ثنائية الأبعاد	Two - Dimensional Sources
المصفوفات	Arrays
مصفوفات القذف	Shot Arrays
مضاد للمياه	Waterproof
المطارق	Hammers
معادلة مدى الرادار	The Radar Range Equation
معالجة البيانات	Data Processing
معالجة البيانات المغناطيسية	Processing Magnetic Data
معامل الانعكاس والإعاقة الصوتية	Reflection Coefficients And Acoustic Impedances
معايرة الجهاز	Meter Calibration
معدل الوهن	Attenuation Rate
المغناطيسية الأرضية	Magnetic
المقاومة الكهربية للصخور والمعادن	Electrical Resistivities Of Rocks And Minerals
المقاومية الظاهرية	Apparent Resistivity
ملاحظات المقاطع الحقلية	Traverse Field Notes
مواضع القذف	Positioning Shots
الموجات السيزمية	Seismic Waves

الموجات المباشرة	Direct Waves
المولدات ذات الكرنك اليدوي	Hand – Cranked Generators
المولدات والمحولات	Generators And Transmitters

ن

نسبة التقشر	Stripping Ratios
النسخة الورقية	Hard Copy
النشاط الإشعاعي للصخور	Radioactivity Of Rocks
النطاقات العمياء	Blind Zones
نظرية الانعكاس	Reflection Theory
النفاذية المغناطيسية	Magnetic Permeability
النقل	Mobility

هـ

الهواء الحر	Free Air

و

وجهاز قياس المغناطيسية من نوع بروتون	Proton Magnetometer
وحدة قياس الجاذبية	Gravity Unit
الوسط الانكساري الأوسط	Intermediate Refractor
الوهن الهندسي	Geometrical Attenuation

ثانياً: إنجليزي – عربي

A

Accuracies In Hand-Held GPS Receivers (GPS)	درجات الدقة في أجهزة الاستقبال
A Geophysical Toolkit	حقيبة العدة (الأدوات) الجيوفيزيائية
Absorption	الامتصاص
Accuracy, Sensitivity And Precision	دقة الإجراءات وحساسية الجهاز وضبط المعلومات
Alpha – Particle Monitors	رصد جسيمات ألفا
Alpha Particles	جسيمات ألفا
Angular Frequency	التردد الزاوي
Annotation Of Field Records	حواشي التسجيلات الحقلية
Anomalies	الشذوذ
Apparent Resistivity	المقاومية الظاهرية
Arrays	المصفوفات
Astatic Spring Systems	أنظمة الزنبرك غير الساكنة
Attenuation Rate	معدل الوهن
Automatic Data Logger	جهاز تسجيل البيانات أوتوماتيكياً
Automation	التحكم الذاتي

B

Base	قاعدة

Base Networks	شبكة المحطات الأساسية
Base Refractor Intercept Times	أزمنة الاعتراض للأوساط الانكسارية الأساسية
Base Refractor Velocity	سرعة الوسط الانكساري الأساسي
Base Station Principles	مبادئ المحطة الأساسية
Base Stations	محطات القاعدة
Beta Particles	جسيمات بيتا
Bipolar	ثنائية القطبية
Blind Zones	النطاقات العمياء
Bouguer	بوجير
Bouguer Anomaly	شذوذ بوجير
Bouguer Correction	تصحيح بوجير
Bouguer Effect	تأثير بوجير

C

Cables	الأسلاك
Capacitative Coupling	الازدواج الحثي
Capacitative Principles	مبادئ الاتصال الحثي
Centre Shots	القذف المركزي
Choice Of Array	اختيار الترتيب
Choosing Geophysical Instruments	اختيار الأجهزة الجيوفيزيائية
Connection	ربط الأسلاك
Corrections For Background Variations	تصحيحات التغيرات في القاعدة الإشعاعية

Coupling	الازدواج
Critical Refraction And Head Wave	الانكسار الحرج والموجه المعاكسة
Crocodile Clips	مشابك التمساح
Current Electrodes	أقطاب التيار

D

Data Displays	طريقة إظهار البيانات
Data Loggers	أجهزة تسجيل
Data Processing	معالجة البيانات
Dc Methods	طرق التيار المباشر
Dc Survey Fundamentals	أسس إجراء المسح باستخدام التيار المباشر
Decibels	الديسبل
Depth Conversion	التحويل إلى العمق
Depth Of Penetration	عمق الاختراق
Depth Penetration	عمق الاختراق
Depths At Shot Points	الأعماق عند نقط القذف
Detecting VLF Fields	الكشف عن مجالات التردد شديد الانخفاض
Detection In Swamps And Water	الكشف عن الموجات في المياه والمستنقعات
Detection Of Seismic Waves	الكشف عن الموجات السيزمية
Detection Of S-Waves	الكشف عن الموجات الثانوية
Dipole – Dipole (Eltran) Array	ترتيب ديبول – ديبول (إيلتران)
Dipoles	الديبول ثنائي القطب

Direct – Wave Velocity	سرعة الموجة المباشرة
Direct Injection	البث المباشر
Direct Waves	الموجات المباشرة
Display Of GPR Data	عرض بيانات الرادار
Displaying Traverse Data	عرض معلومات المقطع
Displaying Vlf Data Vlf	عرض بيانات
Diurnal Variations	التغيرات اليومية النهارية
Dix Velocity	سرعة ديكس
Drift	الانحراف
Drift Correction	تصحيح الانحراف

E

Earth's Gravity Field	مجال الجاذبية الأرضية
Effect Of Dip	تأثير الميل
Effect Of Dip	تأثير ميل الطبقات
Electric Field Effects	تأثيرات المجال الكهربي
Electrical Permittivity	السماحية الكهربية
Electrical Resistivities Of Rocks And Minerals	المقاومة الكهربية للصخور والمعادن
Electrical Well Logging	سبر الآبار الكهربية
Electrode Arrays	ترتيبات الأقطاب
Electromagnetic	الكهرومغناطيسية
Elevation Control	ضبط الارتفاع

Elliptical Polarization	الاستقطاب الإهليجي
Explosives	المتفجرات
Exponential Decay	الاضمحلال الدليلي

F

Field	حقل
Field Interpretation	التفسير الحقلي
Field Interpretation	التفسير الحقلي
Field Notebook	دفتر الحقل
Field Procedures – Total Field Surveys	الإجراءات الحقلية – المسح الحقلي الشامل
Field Reading	قراءة حقلية
Field Toolkit	حقيبة العدة الحقلية
Field Worthiness	كفاءة الحماية الحقلية
Filtering	عملية الترشيح
Fluxgate	فلاكسجيت
Focused Arrays	ترتيب التركيزية
Forms Of Magnetic Anomaly	أشكال الشذوذ المغناطيسي
Free Air	الهواء الحر
Free Air Correction	تصحيح الهواء الحر

G

Gamma – Ray Spectrometers	أجهزة التحليل الطيفي لأشعة جاما

فوتونات جاما	Gamma Photon
أشعة جاما	Gamma Radiation
أجهزة القياس الوميظي للأشعة جاما	Gamma-Ray Scintillometers
أجهزة القياس الطيفي لأشعة جاما"	Gamma-Ray Spectrometers
المولدات والمحولات	Generators And Transmitters
الجيويد	Geoid
التأثيرات الجيولوجية	Geological Effects
التشويه الهندسي	Geometric Distortion
عامل هندسي	Geometric Factor
الوهن الهندسي	Geometrical Attenuation
الاعتبارات الهندسية	Geometrical Considerations
الجيوفونات (السماعات الأرضية)	Geophones
البيانات الجيوفيزيائية	Geophysical Data
العمل الحقلي الجيوفيزيائي	Geophysical Field-Work
المسح الجيوفيزيائي في الأجواء المطيرة	Geophysical Survey In Rainy Weather
جهاز تحديد المواقع الأرضية باستخدام الأقمار الصناعية	Global Positioning Satellites; (Gps)
التداخلات في الأعمال المساحية الرادارية	GPR Interference In GPR Surveys
الأعمال المساحية	Gpr Surveys
ترتيب التدرج	Gradient Array
الجرافيمتر	Gravimeters
الجاذبية الأرضية	Gravity

Gravity Field Of The Earth	مجال الجاذبية للكرة الأرضية
Gravity Reductions	اختزال الجاذبية
Gravity Unit	وحدة قياس الجاذبية

H

Hammers	المطارق
Hand – Cranked Generators	المولدات ذات الكرنك اليدوي
Hard Copy	النسخة الورقية
Hidden Layers	الطبقات الخفية
High Sensitivity (Alkali Vapour) Magnetometer	ماجنيتومتر "البخار القلوي" عالي الحساسية

I

Induced Polarization	الاستقطاب الحثي
Instrumentation	إعداد الأجهزة
Intercept Times	أزمنة الاعتراض
Intercept Times	أزمنة الاعتراض
Intermediate Refractor	الوسط الانكساري الأوسط
Inverse -Square Law	قانون التربيع العكسي
IP Of Induced Polarization	طرق الاستقطاب الحثي
Isostatic Anomaly	الشذوذ الايزوستاتيكي

L

Latitude Correction	تصحيح دوائر العرض

Lengths Of Refraction	أطوال انتشار الانكسار
Limitation Of Drilling	محدودية عمليات الحفر
Limitations Of The Refraction Method	محدودية الطريقة الانكسارية
Local Anomalies	الشذات المحلية

M

Magnetic	المغناطيسية الأرضية
Magnetic Field Effects	تأثيرات المجال المغناطيسي
Magnetic Instruments	أجهزة قياس المغناطيسية
Magnetic Permeability	النفاذية المغناطيسية
Magnetic Properties	الخصائص المغناطيسية
Magnetic Storms	العواصف المغناطيسية
Magnetization	التمغنط
Magnetometers Alkali Vapour	ماجنيتومتر البخار القلوى
Main Field Of The Earth	المجال المغناطيسي الرئيسي للأرض
Metal Electrodes	الأقطاب المعدنية
Meter Calibration	معايرة الجهاز
Meter Checks	مراجعة ضبط الأجهزة
Mid-Point Shooting	القذف عند نقطة متوسطة
Mobility	النقل
Multi- Electrode Arrays (Not Shown)	ترتيب الأقطاب المتعددة
Multi-Channel Seismographs	أجهزة السيزموجراف متعددة القنوات

Multiple Layers	الطبقات المتعددة
Multiple Reflections	الانعكاسات المتعددة (المركبة)

N

Natural And Controlled-Source Audio-Magnetotellurics	الإشعاعات الكهرومغناطيسية الطبيعية المسموعة ومصدر التحكم فيها
Natural Background Noise	خلفية التشويش الطبيعية
Natural Gamma – Ray Spectra	طيف أشعة جاما الطبيعية
Natural Radiation	الإشعاع الطبيعي
Nettleton's Method For Direct Determination Of Density	طريقة نتلتون لتعين الكثافة المباشر
Noise	التشويش
Noise In Electrical Surveys	التشويش في الأعمال المساحية الكهربية
Noise In Ground Magnetic Surveys	التشويش في الأعمال المساحية المغناطيسية الأرضية
Non – Polarizing Electrodes	الأقطاب غير المستقطبة
Non – Polarizing Electrodes	الأقطاب غير المستقطبة
Normal Distribution	التوزيع العادي
Normal Moveout	الترحيل العمودي

O

Offest Wenner Depth Sounding	الجس الرأسي العميق باستخدام ترتيب وينر التعويضية
Offset Wenner	ترتيب ونر التعويضية

Ohm's Law And Resistivity	قانون أوم والمقاومة الكهربية
One - Dimensional Sources	المصادر أحادية الأبعاد
Other Impact Sources	المصادر التصادمية الأخرى
Overburden Effects	تأثيرات طبقة الردم

P

Phase Angle	زاوية الطور
Physical Basis Of The Gravity Method	الأسس الفيزيائية لطريقة الجاذبية
Picking Refraction Arrivals	التقاط الموجات الانكسارية الوافدة
Polarization Voltages	فرق الجهد المستقطب
Pole – Dipole Array	ترتيب البول – ديبول
Poles, Dipoles Magnetiztion	الأقطاب ، ثنائي القطب والتمغنط
Poorly Consolidated	الطبقات الغير متماسكة
Positioning Shots	مواضع القذف
Power Supplies	مصادر القوى الكهربية
Presentation Of Sounding Data	التمثيل البياني لبيانات الجس الرأسي
Presentation Of The Results	عرض النتائج
Primary Field	المجال الابتدائي
Primary Field	المجال الابتدائي
Processing Magnetic Data	معالجة البيانات المغناطيسية
Processing Techniques	تقنيات المعالجة
Proton Magnetometer	وجهاز قياس المغناطيسية من نوع بروتون

Proton Precession	بروتون بريسشن
Proton Precession Magnetometer	جهاز ماجنيتومتر "بروتون بريسشن
Pseudo – Sections And Depth Sections	القطاعات الكاذبة وقطاعات العمق
Pulse-Height Analyser	محلل ارتفاع النبضة

Q

Quoted Susceptibilities	القابلية المغناطيسية المكتسبة

R

Radar Fundamentals	أسس طريقة الرادار
Radar Parameters	عناصر الرادار
Radiation Detectors	أجهزة الكشف الإشعاعي
Radioactive Equilibria	التوازن الإشعاعي
Radioactive Particle Fluxes	دفق الجسيمات الإشعاعية
Radioactivity Of Rocks	النشاط الإشعاعي للصخور
Radiometric Assays	تحليل القياسات الإشعاعية
Radiometric Surveys	المسح الإشعاعي
Radiometric Surveys	المسح الإشعاعي
Radon Gas Detectors	أجهزة كشف غاز الرادون
Random Noise	التشويش العشوائي
Ray- Path	مسار الشعاع
Ray-Path Diagrams	أشكال مسار الشعاع

Reading Times	زمن القراءة
Receivers	أجهزة المستقبل
Reciprocal Time Interpretation	استقراء الزمن التبادلي
Reciprocal Time Interpretation	تفسير الزمن التبادلي
Recording Radiometric Data	تسجيل البيانات الإشعاعية المقاسة
Recording Seismic Signals	تسجيل الإشارات السيزمية
Recording The Results	تسجيل النتائج
Reflection And Refraction	الانعكاس والانكسار
Reflection Coefficients And Acoustic Impedances	معامل الانعكاس والإعاقة الصوتية
Reflection Of Radar Pulses	انعكاس نبضات الرادار
Reflection Theory	نظرية الانعكاس
Refraction Surveys	المسح بالطريقة الانكسارية
Refractor Relief And True Velocities	تضاريس "الوسط الانكساري" والسرعات الحقيقية
Resistivity And Conductivity	التوصيلة والمقاومة الكهربية
Resistivity Depth Sounding	عمق الجس الكهربي باستخدام طرق المقاومية الكهربية
Resistivity Methods	طرق المقاومة الكهربية
Resistivity Profiling	إعداد قطاعات المقاومة
Rule – Of Thumb Depth Estimation	الطريقة المجربة لتقدير العمق

S

Safety	إجراءات الأمن والسلامة
Schlumberger Array	ترتيب شلمبرجير

Scintillometers	أجهزة الكشف الوميضي
Seismic Cables	الأسلاك السيزمية
Seismic Noise	تشويش سيزمى
Seismic Refraction	الطريقة السيزمية الانكسارية
Seismic Sources	المصادر السيزمية
Seismic Waves	الموجات السيزمية
Selecting Survey Parameters	اختيار عناصر الأعمال المساحية
Sensitivity	حساسية الجهاز
Setting Up A Gravity Meter	ضبط وتجهيز جهاز قياس الجاذبية
Shot Arrays	مصفوفات القذف
Signal – Contribution Sections	قطاعات إسهام الإشارة
Signal And Noise	الإشارات والتشويش
Signal Strength	قوة الإشارة
Simple Magnetic Interpretation	التفسير المغناطيسي البسيط
Single-Channel Seismographs	السيزموجراف أحادي القناة
Skin Depth	عمق القشرة
SP Or Self Potential	طرق الجهد الذاتي
Spread Lengths	أطوال الانتشار
Square Array	ترتيب التربيعية
Stacked	متراكم
Stacked Profiles	بروفيلات متراصة
Standard Gravity Meter	جهاز قياس الجاذبية الأرضية

Standard Values	القيم النموذجية
Standardized Gravity Maps	خرائط الجاذبية القياسية
Station Numbering	ترقيم المحطات
Station Positioning	تحديد مواقع المحطات
Steel A Static Meters	أجهزة القياس الصلبة غير الساكنة
Stripping Ratios	نسبة التقشر
Survey Principles	مبادئ مسح الجاذبية
Survey Types	أنواع الأعمال المساحية
Susceptibilities Of Rocks And Minerals	قابلية الصخور والمعادن للتمغنط
Susceptibility	القابيلة المغناطيسية

T

Terrain Corrections	تصحيح التضاريس
The Bouguer Plate	لوح بوجير
The International Geomagnetic Reference Field (Igrf)	المرجع الحقلي الجيومغناطيسي العالمي
The Magnetic Field Of The Earth	المجال المغناطيسي للأرض
The Principal Refractors	أسس الانكسارات
The Radar Range Equation	معادلة مدى الرادار
Tidal Effects	تأثير المد والجزر
Time Breaks	انقطاع الزمن
Time- Distance Plots	أشكال الزمن والمسافة البيانية
Transients	التيرات العابرة

Traverse Field Notes	ملاحظات المقاطع الحقلية
Two - Dimensional Sources	المصادر ثنائية الأبعاد
Two – Electrode (Pole – Pole)	ترتيب القطبين
Types Of Elastic Wave	أنواع الموجة المرنة

V

Variance And Standard Deviation	المتغيرات والانحراف القياسي للمنحنى
Varying Current Methods	طرق التيار المتغير
Vector Addition	المتجه الإضافي
Velocities	السرعات
Velocities And The Time-Average Equation	السرعات ومعادلة متوسط الزمن
Vertical Velocities	السرعات الرأسية
Vlf Radiation	الأشعة ذات التردد شديد الانخفاض
VLF Transmissions	انتقال الموجات ذات التردد شديد الانخفاض
Vlf Instruments Vlf	أجهزة

W

Waterproof	مضاد للمياه
Wavelengths And Half-Widths	طول الموجة ومنتصف العرض
Wenner Array	ترتيب وينر

كشاف الموضوعات

أ

ح

خ

د

ر

ن

هـ

و

نبذة عن المترجم

الدكتور/ ناصر بن سعد بن ناصر العريفي

أستاذ الجيوفيزياء

- ولد في مدينة القويعية في ١٣٨١/١/١هـ.
- حصل على الثانوية العامة علمي من ثانوية الملك عبد العزيز بالرياض عام ١٣٩٩ هـ.
- حصل على البكالوريوس في الجيولوجيا من جامعة الملك سعود - كلية العلوم - قسم الجيولوجيا عام ١٤٠٥هـ.
- حصل على الدكتوراه في الجيوفيزياء من جامعة مانشستر بالمملكة المتحدة عام ١٤١٧هـ.
- شغل رتبة أستاذ مساعد في الجيوفيزياء بين عام ١٤١٨-١٤٢٦هـ.
- شغل رتبة أستاذ مشارك في الجيوفيزياء منذ ١٤٢٦هـ وحتى ١٤٣٠هـ.
- يشغل رتبة أستاذ في الجيوفيزياء منذ ١٤٣٠هـ وحتى الآن.
- يقوم حاليا بتدريس المقررات التالية :
  - أ) الاستكشاف السيزمي.
  - ب) علم الزلازل.
  - ج) سيزموتكتونية الشرق الأوسط.
  - د) تقارير جيوفيزيائية.
  - هـ) جيوفيزياء الحقل.
  - و) النمذجة في الجيوفيزياء.
  - ز) سيزموتكتونية شبة الجزيرة العربية.
  - ح) تسجيلات الآبار الجيوفيزيائية.
  - ط) الزلزالية الهندسية.
- باحث رئيسي في عدة مشاريع مدعمه من قبل مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية.
- مشرف رئيسي على العديد من الرسائل العلمية لمرحلة الماجستير في القسم تخصص جيوفيزياء.
- مشرف مساعد على العديد من الرسائل العلمية لمرحلة الماجستير في القسم تخصص جيوفيزياء.
- محكم للعديد من الجوائز والمجلات العلمية ورسائل الماجستير والدكتوراه.
- له العديد من الأبحاث المنشورة في مجال علم الزلازل والجيوفيزياء التطبيقية.
- مستشار غير متفرغ لمعهد بحوث الفلك والجيوفيزياء بمدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية منذ عام ١٤١٨هـ وحتى الآن.
- عضو مجلس الإدارة للجمعية السعودية لعلوم الأرض.
- رئيس قسم الجيولوجيا - كلية العلوم - جامعة الملك سعود منذ عام ١٤٢٣هـ وحتى ١٤٢٨هـ.
- وكيل كلية المجتمع بمحافظة حريملاء منذ عام ١٤٢٨هـ وحتى ١٤٢٩هـ.
- عميد كلية المجتمع بمحافظة القويعية منذ عام ١٤٢٩هـ وحتى الآن.



www.ksu.edu.sa

ISBN 9789960555690
9 789960 555690